

低炭素社会 入門

A Primer on
Low Carbon Societies

まえがき

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、2013年から2014年にかけて出版した第5次評価報告書で、「気候システムに対する人為的影響は明らかであり、気候変動のリスクを大幅に低減するためには、ゼロエミッションに向かうしかない」と発表しました。また、2015年にパリで開催された気候変動枠組条約(UNFCCC)第21回締約国会議(COP21)では、発展途上国を含むすべての国が協調して「世界の平均気温上昇を2℃未満に抑える」という目標に向けて、人間活動による温室効果ガス排出量を今世紀後半には実質的にゼロにしていく方針を打ち出しました。

既に途上国を含む多くの国がUNFCCCに2020年以降の新たな温室効果ガス排出削減目標である約束草案を提出しています。しかしながら、現時点での約束草案の取り組みだけでは、2100年には3℃以上の気温上昇が見込まれるので、2℃目標達成のためには、さらなる温室効果ガスの削減が必要とされています。

実質的に温室効果ガス排出量を大幅に減らすような低炭素社会を構築するためには、先進国のみならず、途上国での対策が重要となってきます。ただし、低炭素社会への転換は容易ではありません。実現するためには、中央・地方政府、民間企業、NGO・NPO、市民、そして国際社会といった主体が長期的な視点から目指す社会の姿をしっかりと見据えつつ、それぞれの役割を強く認識しながら協力して取り組むことが必要不可欠となってきます。

本冊子は、これから低炭素社会の実現に取り組む学生・ビジネス関係者・政策担当者などを対象として、低炭素社会とは何か、低炭素社会に向かうために何をすべきかを整理したものです。本冊子が活用され、低炭素社会が実現するための具体的行動が推進されることを期待します。

本冊子の執筆を担当されたインド・ハイデラーバードのIntegrated General Systems Analysis Laboratories教授、兼インド・ラクナウーのインド経営大学院客員教授のRahul Pandey博士、及び出版を支援頂いた環境省に感謝します。

2016年3月

低炭素社会国際研究ネットワーク(LCS-RNet)

目次

まえがき	1
01. 気候変動の科学	3
1.1 気候変動の科学的証拠	3
1.2 温室効果ガス排出量の増加と気候変動との相関	7
1.3 将来起こりうる影響	8
1.4 温室効果ガスの排出とその人為的要因	11
02. 低炭素社会への転換の必要性	15
2.1 なぜ低炭素社会(LCS)への転換が重要か	17
2.2 低炭素社会の特徴	19
2.2.1 LCSとエネルギー	19
2.2.2 LCSと持続可能な開発	21
2.3 LCS達成の実現可能性	22
03. LCSを実現するためのエネルギーおよび社会経済システム	25
3.1 エネルギー供給サイドの対策	26
3.2 エネルギー需要サイドの対策	29
04. 低炭素社会に向けた政策	33
4.1 UNFCCCの制度・プロセスおよび国際社会と各国のコミットメント	33
4.2 税・取引・資金調達に関する世界・国レベルの取り組み	35
4.3 その他の国レベル及びセクターレベルでの政策	37
4.3.1 規制的インセンティブと目標を通じた再生可能エネルギーと他の低炭素エネルギー選択の推進	38
4.3.2 規制基準、インセンティブや目標を通じた需要サイドでの効率および技術選択の追求	38
4.4 地方レベルの取り組み	40
4.5 包括的政策の必要性	42
05. 需要サイドからのLCSの取り組みとしての行動とパラダイムの転換	45
5.1 LCSへの障壁	46
5.2 行動と社会経済的パラダイムの変化	47
06. 最終章：今こそ行動のとき	49
参考文献	53

過去1万年間、世界の平均地上気温は、人間や他の生物の生存に適した約14℃に保たれ、そのような気候の中で人類の文明は繁栄し発展を遂げてきた。この間の大気中温室効果ガス(GHG)¹濃度は概ね安定して推移してきたが、それは地表と海面からの温室効果ガス排出速度と同吸収速度のバランスが取れていたため、すなわち地表面からの温室効果ガスの大気への排出が、吸収されたり、温室効果ガスとは異なる化合物に変わったりして、大気から除去されることでバランスが取られてきたため、これが世界の地上気温が一定に保たれてきた一因である。温室効果ガスがなければ、世界の平均地上気温は、現在の気温より約33℃低いことになる。

しかし産業革命以降の数百年間、近代産業の急成長、技術の急激な進歩、人口の急増、また人間の生産・消費活動と生活様式は劇的に変化した。その結果、人間活動による温室効果ガス排出速度、特に化石燃料(石炭、石油、天然ガス)の燃焼によるCO₂の排出速度および農地からのメタンと一酸化二窒素の排出速度が、地球表面で吸収できる温室効果ガス吸収速度を大きく上回るようになり、次第に大気中の温室効果ガス濃度が上昇・累積していった。世界の平均地上気温の上昇とこの温室効果ガス濃度の増加には強い相関がある。

1850年から1900年までの地球の陸上・海面を合わせた平均地上気温と、2003年から2012年までの同平均気温を比べると、0.78℃上昇したことが観測されている(IPCC WG I, 2013)。古気候の研究は、数十年から数百年間の過去の全球の気候変化を推測できる気候上感度の高い指標の変化を調べているが、ここ半世紀間の気温上昇は少なくとも、それ以前の1300年間の気温上昇と比較しても異常であることを示している。長期にわたって極地が現在よりもかなり暖かかった最後の時期(約12万5千年前)には、極地の氷が融け、海面が4~6メートル上昇した(IPCC WG I, 2007)。

IPCC WG I (2013)は、気候システムの温暖化は疑う余地がなく、1950年代以降に観測された変化の多くは、数十年から数千年間にわたって前例のないものであると述べている。大気と海洋は温暖化し、雪と氷の量は減少し、海面は上昇し、温室効果ガス濃度は増加している(図1、図2、図3)。そこで、次の節では、気候変動の科学的な証拠、温室効果ガスとの関係、すでに顕在化している、また予測される影響と、温室効果ガス排出の人為的な原因についての概要を述べる。

1.1 気候変動の科学的証拠

最近30年における各10年間の地上気温は、1850年以降のどの10年間よりも高く、連続して上昇している。地球の平均地表面気温は、複数のデータによれば、1880年から2012年の間に0.85℃上昇しており(0.65から1.06の幅)(図1)、1985年から1990年までの平均地表面気温と、2003年から2012年までのそれと

¹ 温室効果ガス(Greenhouse gas: GHG)とは、地表から放射された赤外線を吸収・放出することで温室効果をもたらす気体をいう。大気中の温室効果ガスの主なものとしては、水蒸気(H₂O)、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、オゾン(O₃)、クロロフルオロカーボン(CFCs)がある。

を比べると、 0.78°C 上昇したことが観測されている。また中程度の確信度で、北半球における1983年から2012年の30年間が、過去1400年間で最も高温の30年間であった可能性が高い。図2が示すごとく、1901年から2012年の間に全球的に地表面の温暖化が観測されており、それは地域的な傾向の推計が十分になされた最も長い期間である(IPCC WG I、2013)。

アメリカ航空宇宙局(NASA)、米国海洋大気庁(NOAA)、及びイギリス気象庁が継続してきた三つの独立した記録から2016年1月に発表された全球温度データセットによれば、2015年はこれまでになく高温が記録されており、全球平均気温を工業化以前から少なくとも 1°C 押し上げた。すなわち、2015年は記録上最も暑い年であった。2015年の後半はエルニーニョが気温を上昇させたが、米国政府科学者は、温室効果ガス濃度の確実な増加が全体的な温度上昇を引き起こしていると述べている(Tollefson、2016a)。

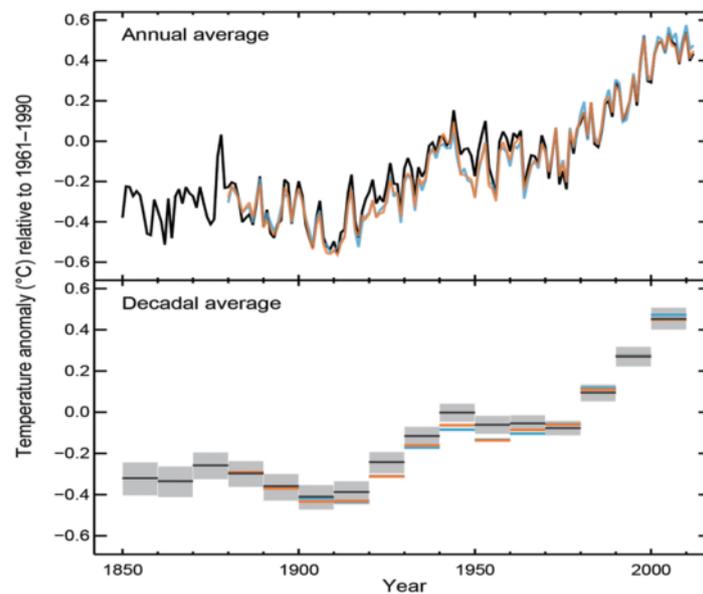


図1：観測された世界平均地上気温 (出典：Fig SPM.1 (a) IPCC WG I、2013)

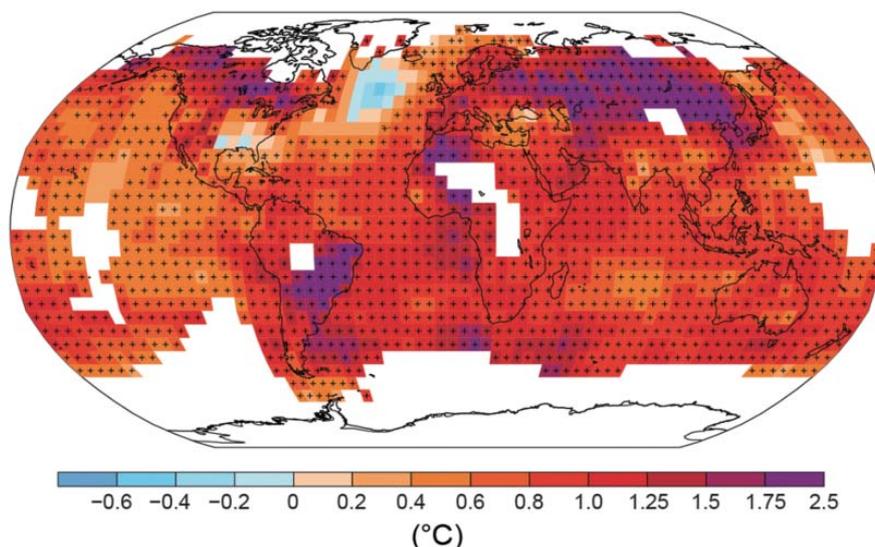


図2：観測された地上気温の変化(1901～2012年)(傾向が10%の水準で有意な場合は格子点に+サインを記入)
(出典：Fig SPM.1 (b) IPCC WG I、2013)

1950年頃以降、多くの極端気象・気候現象の変化が観測されてきた(図み1)。世界規模で、寒い日と寒い夜の日数が減少し、暑い日と暑い夜の日数が増加している可能性が非常に高い²。また、ヨーロッパ、アジア、オーストラリアの大部分で熱波の頻度が増加している可能性も高い(IPCC WG I、2013)。

図み 1. 1950年、あるいは1970年からの極端気象と気候変動の全球評価とこれらの変化に及ぼす人為的影響の程度

可能性が非常に高い —可能性が高い事象と人為的影響	確信度が中程度か低い事象と人為的影響
<ul style="list-style-type: none"> ● ほとんどの陸上地域で、より暖かく、及び／或いは寒い日が少なくなっている ● ほとんどの陸上地域で、より暖かく、及び／或いは暑い日がある ● ほとんどの陸上地域で、暖かい日が続く、及び／或いは熱波がある ● 海水面が極端に上昇することの発生率、及び／或いはその規模が大きくなる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 豪雨の回数、強度、降雨量の増加 ● 干ばつの強度や期間の増加 ● 熱帯性低気圧の強度の増加

IPCC WG I (2013) は、非常に高い確信度で、過去20年にわたって、グリーンランドと南極の氷床質量が減少し、ほぼ世界中の氷河が縮小し続け、さらに北極の海氷域面積と北半球の春季の積雪面積が減少し続けていると述べている(図3)。

20世紀半ば以降、北極海では温暖化が相当に進行している。Witze (2016) によると、2015年の終わりから2016年の始めにかけて、冬季に北極が海氷で覆われる面積は、これまでの冬季の最大の海氷面積のどれと比べても小さかった。2016年2月28日現在、北極が海氷で覆われる面積は1452万5千平米であり、1981年から2010年の平均よりも93万8千平米少ない。

20世紀半ば以降、北極海では温暖化が相当に進行している。グリーンランド氷床の平均減少速度は、1992～2001年の年平均34³Gtから、2002～2011年の年平均215Gtに大幅に上昇している可能性が非常に高い。南極の氷床質量の平均減少速度も、1992～2001年の年平均30Gtから、2002～2011年の年平均147Gtに上昇している可能性が高い。世界中の氷河の平均減少速度は、氷床周囲の氷河を除き、1971～2009年の年平均が226Gt、1993～2009年の年平均が275Gtである可能性が非常に高い。北極では、1979年から2012年にかけて年間平均海氷域面積が減少している。10年ごとの同減少速度は3.5～4.1%の範囲にある可能性が非常に高く、10年間の平均面積の平均減少速度は、夏季に最も急速に進んでいる。一方、南極では、1979年から2012年にかけて年間平均海氷域面積が10年当たり1.2～1.8%の割合で増加している可能性が非常に高く、大きな地域差があることを示唆している。北半球では、20世紀半ば以降、非常に高い確信度で積雪面積が減少している(IPCC WG I、2013)。

現在の海面上昇の主な原因は氷床の減少であり、温暖化が続けばさらに上昇すると予想される。例えば、グリーンランドの氷床の減少は20世紀を通じて主要な海面上昇の原因であり、少なくとも全球の平均上昇

² 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第1作業部会(WGI)(2013)は、気候の変化の指標とそのインパクトを、可能性が非常に高い<very likely>、可能性が高い<likely>、中程度の<medium confidence>、確信の程度が低い<low confidence>などと示している。これらの用語は巨大なデータセットの分析による確率的な確信度である。

³ ここでは、定量的な指標の予測の平均値のみを記す。IPCC第1作業部会(2013)は、平均点と区間(範囲)推定の双方について言及している。

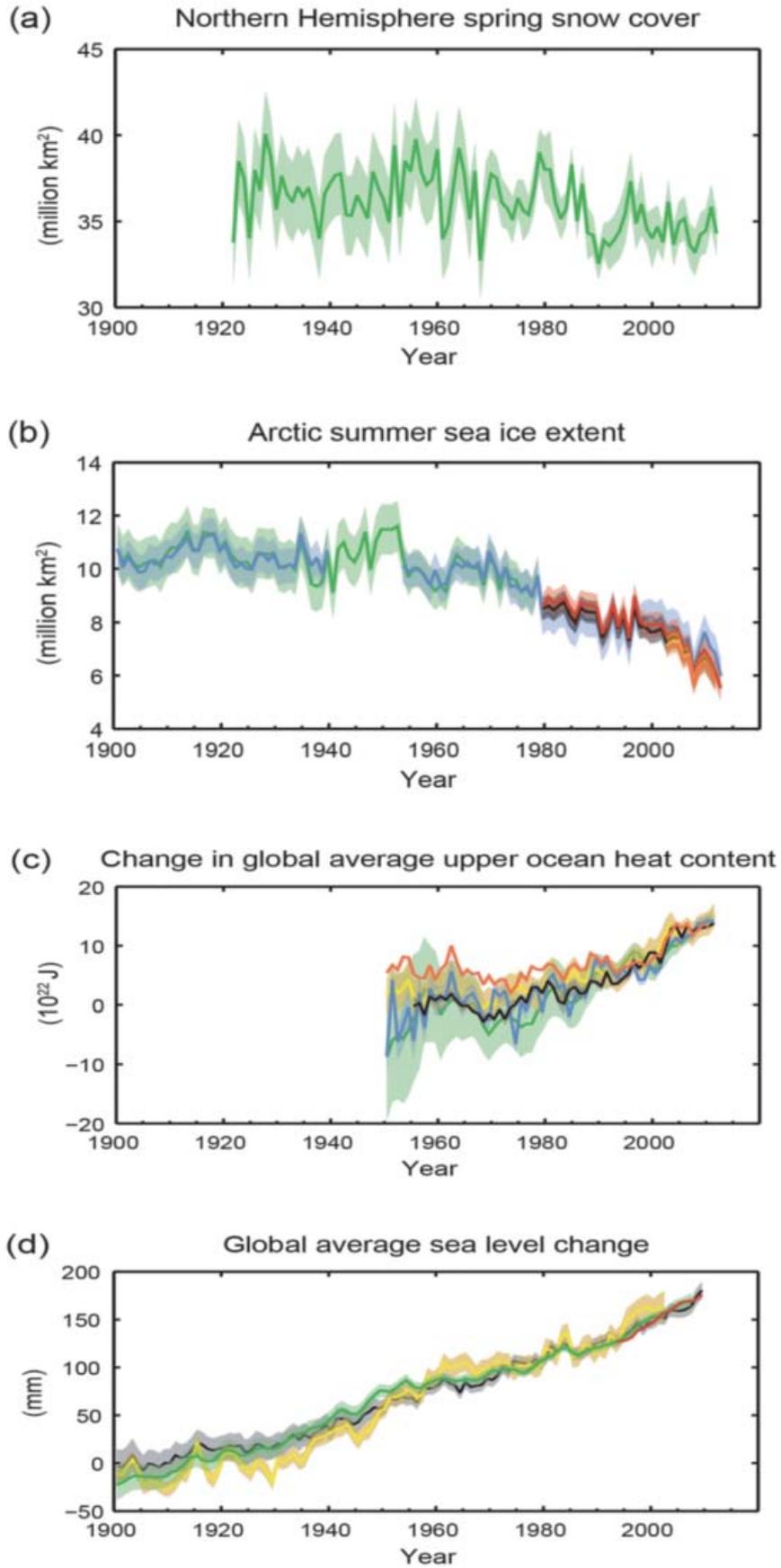


図3：世界の気候の変化に関する指標

(a) 北半球の春季の積雪面積、(b) 北極の夏季の海氷域面積、
 (c) 世界の平均海洋表層貯熱量の変化、(d) 世界の平均海面水位の変化

(出典：Fig SPM.3 IPCC WG I, 2013)

の内、 25 ± 9.4 ミリメートル上昇させている(Csatho、2015)。19世紀半ば以降の海面上昇速度は、過去2千年の同平均上昇速度よりも大きい。1901年から2010年にかけて、世界の海面水位は平均0.19m(図3)上昇している(IPCC WG I、2013)。

1.2 温室効果ガス排出量の増加と気候変動との相関

大気中の温室効果ガス濃度は、少なくとも過去80万年で前例のない水準まで増加している。2011年の二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)の大気中濃度は、それぞれ391 ppm⁴、1803 ppb⁵、324 ppbで、産業革命以前の水準をそれぞれ約40%、150%、20%上回っていた(IPCC WG I、2013)。これらのガスの大気中濃度の上昇は人間活動が原因である。例えば、CO₂濃度は産業革命以前よりも40%増加しており、その第一の原因は化石燃料からの排出、第二の原因は正味の土地利用変化による排出である。

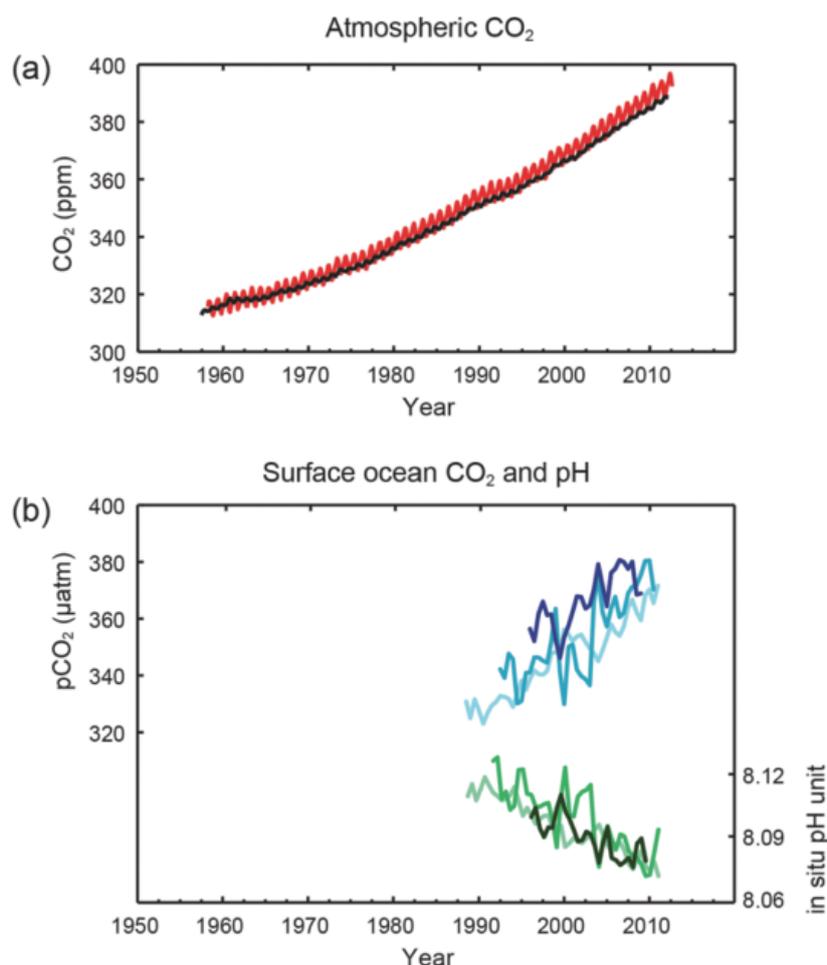


図4： 全球の炭素循環の変化に関する指標

(a) 特定地点の大気中のCO₂濃度、(b) 海表面の溶解CO₂分圧とそこでのpH

(出典：Fig SPM.4 IPCC WG I、2013)

4 100万分の1(乾燥空気100万分子中のガス分子数)

5 10億分の1(乾燥空気10億分子中のガス分子数)

1750年から2011年までの間に、化石燃料の燃焼およびセメント生産によって375 GtC⁶のCO₂が大気中に排出された。一方、森林伐採および他の土地利用変化によって180 GtCのCO₂が排出されたと推計されており、その結果、人為起源の累積CO₂排出量は555 GtCとなる。この人為起源の累積CO₂排出量のうち、約240 GtCが大気中に蓄積し、155 GtCが海洋に取り込まれ、160 GtCが自然の陸域生態系に蓄積している(残差による累積陸域吸収量)。また図4を見れば分かるように、海面のpHは工業化時代が始まってから0.1低下しており、これは海洋酸性化が進行していることを示唆している(IPCC WG I, 2013)。海洋は、排出された人為起源のCO₂の約30%を吸収し、海洋酸性化を引き起こしている。海洋内部の観測によると、化石燃料燃焼によるCO₂排出量の増加によって海洋上部の炭素の量が増加している(Ilyina, 2016)。

自然起源及び人為起源の物質によって引き起こされる地球のエネルギー収支の変化を定量化する指標は放射強制力⁷である。正の放射強制力により気温は上昇し、負の放射強制力により地表面の気温は下がる。1970年と比べた2011年の人為起源の総放射強制力は2.29 W/m²であり、1970年以降急速に増加している。自然起源の放射強制力、即ち太陽放射の変化によるものは、1750年から2011年にかけて0.05 W/m²増加した。それ故、放射強制力は差し引き正(プラス)であり、気候システムによってエネルギーを得ている。最大の原因は1970年以降の人為起源のCO₂濃度の増加である。その他の要因には、CH₄、ハロカーボン類とN₂Oがある(IPCC WG I, 2013)。

1870年から2010年の観測データは累積温室効果ガス排出量の増加と全球の地上温度の上昇との間に強い相関があることを示している(図5参照)⁸。

1.3 将来起こりうる影響

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、第5次評価報告書において、将来の人為的温室効果ガス排出量の変化を幅広く推計するために代表濃度経路シナリオ(RCPs)を採用した。RCPsは四つの異なる温室効果ガス濃度経路で構成され、将来の温室効果ガス排出量の違いによってどの程度気候が異なるかを示すものである。これらの経路は気候モデリングや研究において、将来の温室効果ガス排出量と削減オプションを解析するために用いられる。四つのRCPs、即ち、RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5は、1750年と比較した2100年の放射強制力が、それぞれ+2.6、+4.5、+6.0、+8.5 W/m²となるように名付けられた。

RCP6.0とRCP8.5では、放射強制力は2100年までいってもピークを迎えない。RCP2.6はピークを迎え、減少する。RCP4.5では、放射強制力は2100年までに安定化する。それぞれのRCPは、土地利用変化、部門別大気汚染物質の排出量の空間分布データと、2100年までの毎年の温室効果ガス濃度と人為的排出量を提供する。RCP8.5は温室効果ガス排出量が非常に高いシナリオ、RCP4.5とRCP6.0は

6 二酸化炭素ガスの排出量は次のように示される。排出量を二酸化炭素の重さで表す場合は二酸化炭素トンを使い、以下「tCO₂」、「ktCO₂」、「MtCO₂」、「GtCO₂」と表記する。二酸化炭素(CO₂)のうち炭素(C)分子のみをもって表記するとき(炭素トン)は、「tC」、「ktC」、「MtC」、「GtC」と表記する。炭素トンから二酸化炭素トンへの変換は、二酸化炭素の分子量と炭素原子の原子量の比、3.67をかける。1tCO₂=3.67tC。

7 放射強制力(RF)とは、エネルギーバランスに影響するガスあるいは他の強制物質の能力を示すもので、それにより気候変動を引き起こす。放射強制力は地球によって吸収される日照(太陽光)と、宇宙に放射されるエネルギーとの差として定義される。正の放射強制力(より多くのエネルギーをもたらす)は地表を暖め、一方で負の放射強制力(より多くのエネルギーを奪う)は地表を冷やす。放射強制力の原因には、日照のほか、温室効果ガスとエアロゾルの濃度変化がある。

8 図5によれば、555ギガトンカーボンの温室効果ガスが2011年までに排出されており、また第2章で述べたごとく全球平均気温の2℃上昇が許容されているので、危険な影響を避けるのであれば2011年以降は235ギガトンカーボン以上の排出ができないことになる。これは第2章2.1節にて詳述する。

安定化シナリオ、RCP2.6は非常に放射強制力が小さくなる緩和シナリオである。2100年の総温室効果ガス濃度(CO₂換算)はRCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5それぞれについて、475ppm、630ppm、800ppm、1313ppmとなる。CO₂のみの濃度は、それぞれ、421ppm、538ppm、670ppm、936ppmとなる(IPCC WGI、2013)。

図5は全球の累積CO₂排出量に対応した全球の平均地上気温の上昇を示している。過去については、1870年から2010年の実測値、将来については、RCPシナリオを用いて推計している。明らかに、累積CO₂排出量は21世紀後半までの全球の平均地上気温をほぼ決定する。このほぼ線形の関係から次のことが言える。(i) 1トンのCO₂はいつ排出されようと約同じ量の温室効果がある、(ii) 全球の平均気温の安定化目標は放出されるCO₂の量で決まる、(iii) 全球の正味排出量はどこかの時点でゼロとなる必要がある(Seneviratneら、2016)。CO₂排出量を今後削減しないと、さらなる温暖化をまねき、気候システムのすべての要素を変化させる。(訳注：すなわち、排出している限り温度が上がるのだから、どこかで排出をゼロにしなければ温度上昇は止まらない。また、何度で止めるとしても、そのときはゼロエミッションになっていなければならない。)

21世紀末の世界の地上気温の変化が、RCP2.6を除く全てのRCPシナリオで1850年から1900年までの平均に対して1.5℃を上回る可能性が高いことを示している。RCP6.0とRCP8.5では2℃を上回る可能性が高く、RCP4.5の場合はどちらかと言えば2℃を上回る。また、2100年以降もRCP2.6を除く全てのRCPシナリオで気温が上昇し続ける(IPCC WG I、2013)。Seneviratneら(2016)は、気候モデルによる地域レベルでの影響の解析を行い、地域レベルでの年間の極端な気温上昇は、全球平均の地上気温の上昇よりはるかに激しいことを見つけた。例えば、全球平均の地上温度の上昇が1.4℃であっても、地中海では、2℃の温度上昇となる(年間で最も暑い日中の気温)。

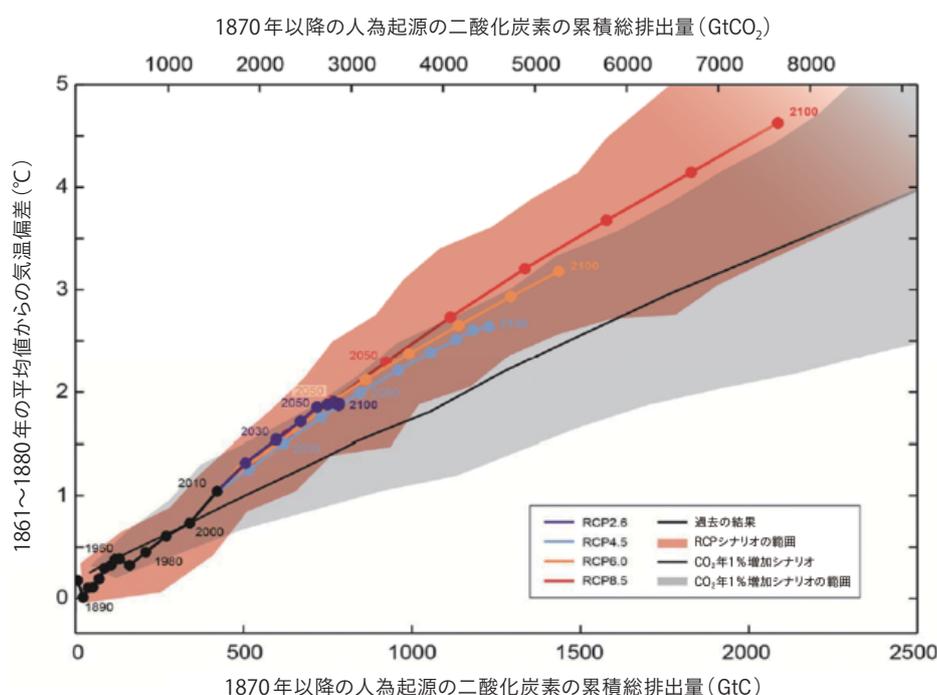


図5：過去(1870年～2010年)および将来予測(2100年まで)における累積温室効果ガス排出量と気温上昇との相関関係
(出典：Fig SPM.10 IPCC WG I、2013)

図6は全球平均の地表面温度、北半球の海氷面積、全球平均の海洋表面pHの変化を示す。図7は四つのRCPシナリオに対応した全球平均の海面上昇を示す。21世紀の間、世界の海洋では引き続き温暖化が進み、海表面からの熱が海洋深層に入り込むことによって海洋循環に影響が及ぶことになる。また世界の平均地上気温の上昇に伴って、21世紀の間中、北極の海氷域面積が縮小し続け、北半球の春季の積雪面積が減少する可能性が非常に高い。氷河の体積も世界規模でさらに減少する。世界の平均海面水位は、

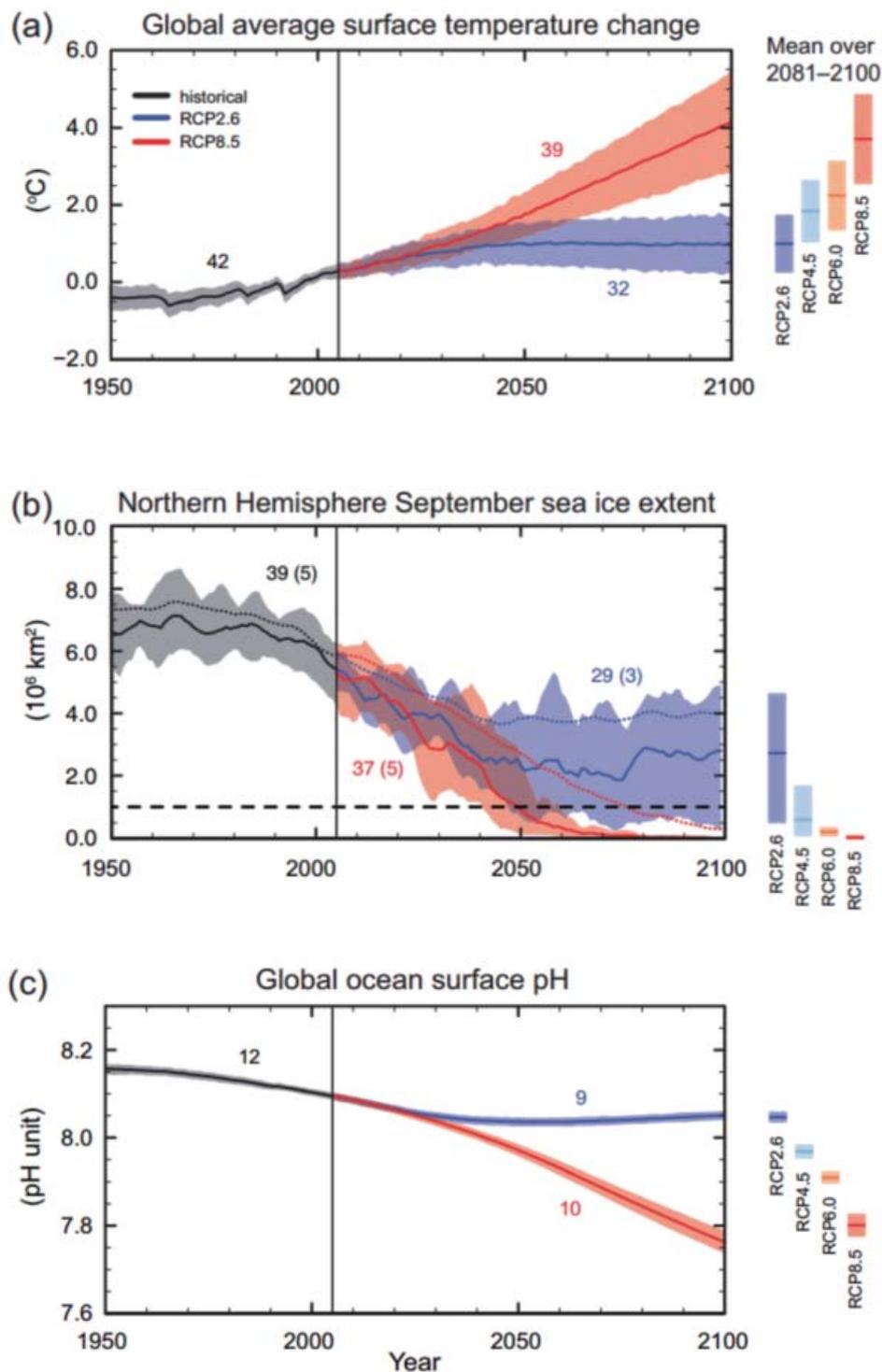


図6：1986年－2005年と比較した全球平均の地表面温度の変化、北半球の9月の海洋面積と全球平均の海表面pH（出典：Figure SPM.7 IPCC WG I、2013）

21世紀中も上昇し続けると予測される。海洋の温暖化が進み、氷河と氷床の質量損失が増加することにより、海面上昇速度は、全てのRCPシナリオにおいて、1971年から2010年の期間に観測された同上昇速度を上回る可能性が非常に高い。気候変動は、大気中のCO₂の増加を加速させる形で炭素循環の過程に影響を及ぼし、海洋のさらなる炭素吸収によって海洋酸性化が進行すると予測される（IPCC WG I、2013）。

モデリングやシミュレーションの研究によると、気候変動はやがて健康や食糧の安全保障にも影響を与える。2015年の健康と気候変動に関するランセット委員会は気候変動による直接の影響として、熱ストレスの増加、洪水、干ばつや、激しい嵐の増加を挙げ、間接的な影響として、大気汚染物質の変化、病原媒介体の広がり、食糧安全保障と栄養不足、強制移住、精神的病気を通じた健康被害が懸念されると報告した。さらに、気候変動の将来予測では、容認できないほど高く、破滅的な健康被害があり、これらの被害は人類社会が経済発展によって得られた健康を覆えす可能性があることを示唆している（Wattsら、2015）。

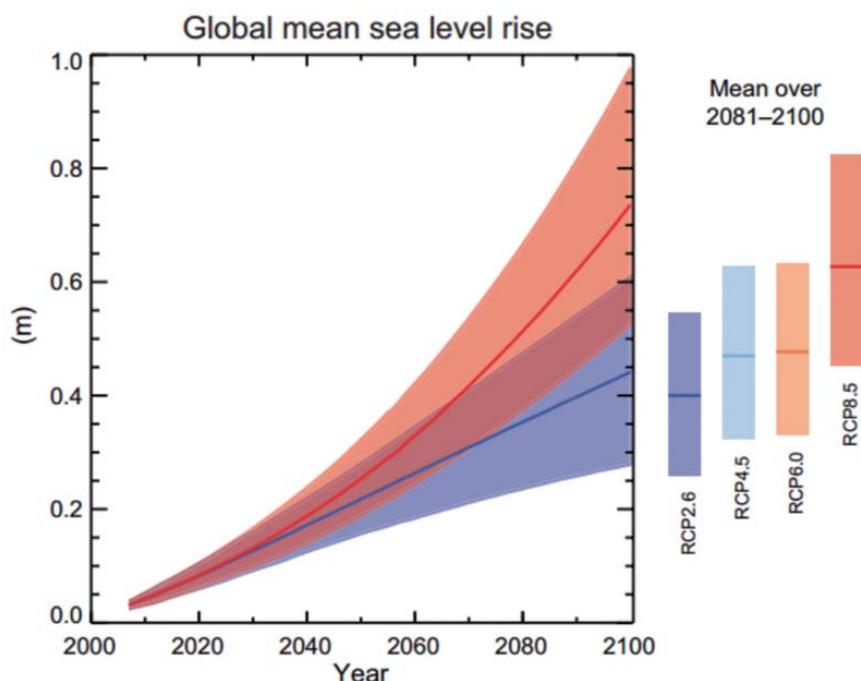


図7：1986年－2005年と比較した21世紀中の全球平均の海面上昇の予測
(出典：Figure SPM.9 IPCC WG I、2013)

1.4 温室効果ガスの排出とその人為的要因

全球の平均地上気温の上昇やその他の気候の指標は放射強制力や大気中温室効果ガス濃度の上昇と強い相関があり、またこれらは、人為起源の温室効果ガス排出量の増加と関係があるので、以下では温室効果ガスの排出量と排出源の特徴について簡単に記述する。

人為的総温室効果ガス排出量は1970年から2010年の間に上昇し続け、最後の10年間の上昇が最も大きかった。総温室効果ガス排出量は2010年では49GtCO₂eq⁹であった（IPCC WG III、2014）。表1に主

9 二酸化炭素換算は、ある温室効果ガスの量、或いは複数の温室効果ガスが混合した量を、温室効果能力を表すGWP（地球温暖化係数）を用いてCO₂の量として表すものである。ある特定の対象期間で計測される（一般的には100年）。様々な温室効果ガスの地球温暖化係数については表1を参照のこと。

な温室効果ガス、その地球温暖化係数と主な排出源を示す。図8は1970年から2010年の温室効果ガス排出量を示す。化石燃料燃焼と工業プロセスからのCO₂排出量の1970年から2010年の総温室効果ガス排出量に占める割合は約78%である。1970年から毎年、人為起源の温室効果ガス排出量の内約75%がCO₂であり、残りはCO₂以外である。

表1：主な温室効果ガスとその地球温暖化係数、主な排出源および総排出量(CO₂換算)に占める割合

温室効果ガス (GHG)	地球温暖化係数 (GWP) ¹⁰ 100-year	大気寿命(年)	主な排出源	GHG排出量(CO ₂ 換算)に占める割合(%, 2010)
二酸化炭素(CO ₂)	1	*参照	化石燃料の燃焼 森林伐採	76
メタン(CH ₄)	28	12	水田、家畜	16
一酸化二窒素(N ₂ O)	265	121	燃料燃焼 肥料	6.2
モントリオール議定書で指定されたクロロフルオロカーボン(CFCs)	1000-10,000s	1-700	冷媒ガス 推進剤ガス 金属洗浄	少ない
ハイドロフルオロカーボン(HFC)	100-10,000s	1-300	同上	少ない
ペルフルオロカーボン(PFC)	100-10,000s	1,000s	半導体プロセス	少ない
六フッ化硫黄(SF ₆)	23,500	3,200	電気絶縁体	少ない

*CO₂に関しては大気寿命について単一の数値を与えるのは難しい(IPCC WG I、2013 ボックス6.1、6.11、8.7を参照のこと)
(出典: IPCC WG I、2013、IPCC WG III、2014)

1750年から2010年の人為起源の累積CO₂排出量の約半分は過去40年間の内に排出された。2000年から2010年にかけて、人為起源の温室効果ガス排出量は毎年100億トン(CO₂換算)増加している。内訳はエネルギー供給部門が47%、産業が30%、交通が11%、民生が3%である。間接排出量(即ち、電力と熱の生産に使った排出量を各部門に割り振った排出量)では民生と産業のシェアが増えている(IPCC WG III、2014)。

図9に2010年の部門別の人為起源の温室効果ガス排出量を示す(GtCO₂eq/yr)。2010年の490億トン(CO₂換算)の排出量のうち、35%がエネルギー部門、24%が農業土地利用部門、21%が産業部門、14%が交通部門、6.4%が民生部門である。電力と熱の生産に使う排出量を需要部門に配分すると、産業部門と民生部門のシェアはそれぞれ31%、19%となる(IPCC WG III、2014)。

10 地球温暖化係数は大気中の温室効果ガスの熱量の相対的な測定に用いられる。ある一定期間にそれぞれの温室効果ガスが及ぼす温暖化の影響について、CO₂の影響を1としたときの係数を用いて計算される。あるガスの地球温暖化係数は対象期間の取り方によって変わる。表1に100年を対象期間とした場合の数値について記した。

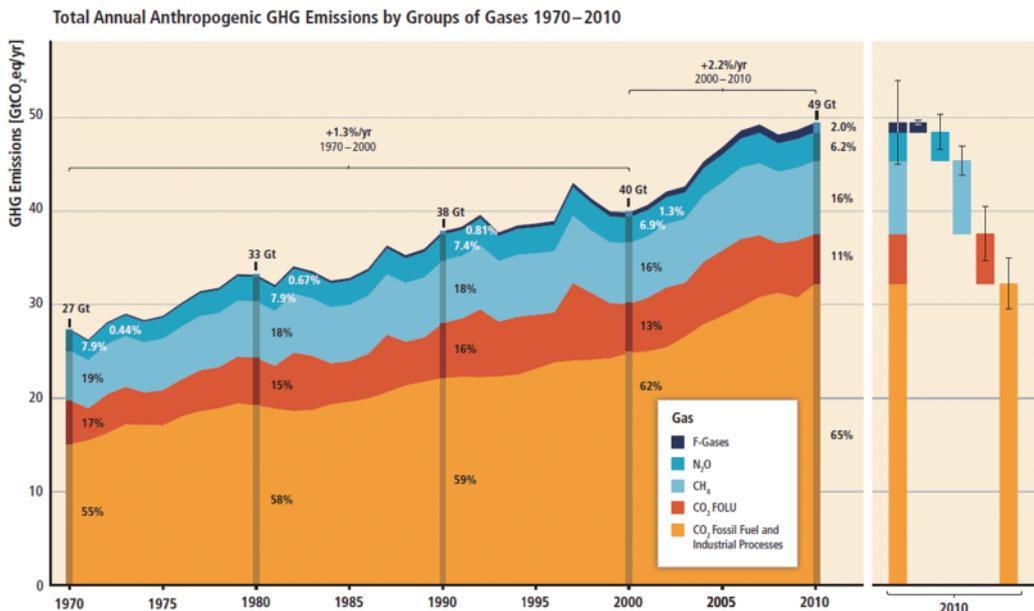


図8：人為的な温室効果ガス排出量の推移 (GtCO₂eq/yr) (ガス種別) (1970年～2010年)
 (出典：Figure SPM.1 IPCC WGIII、2014)

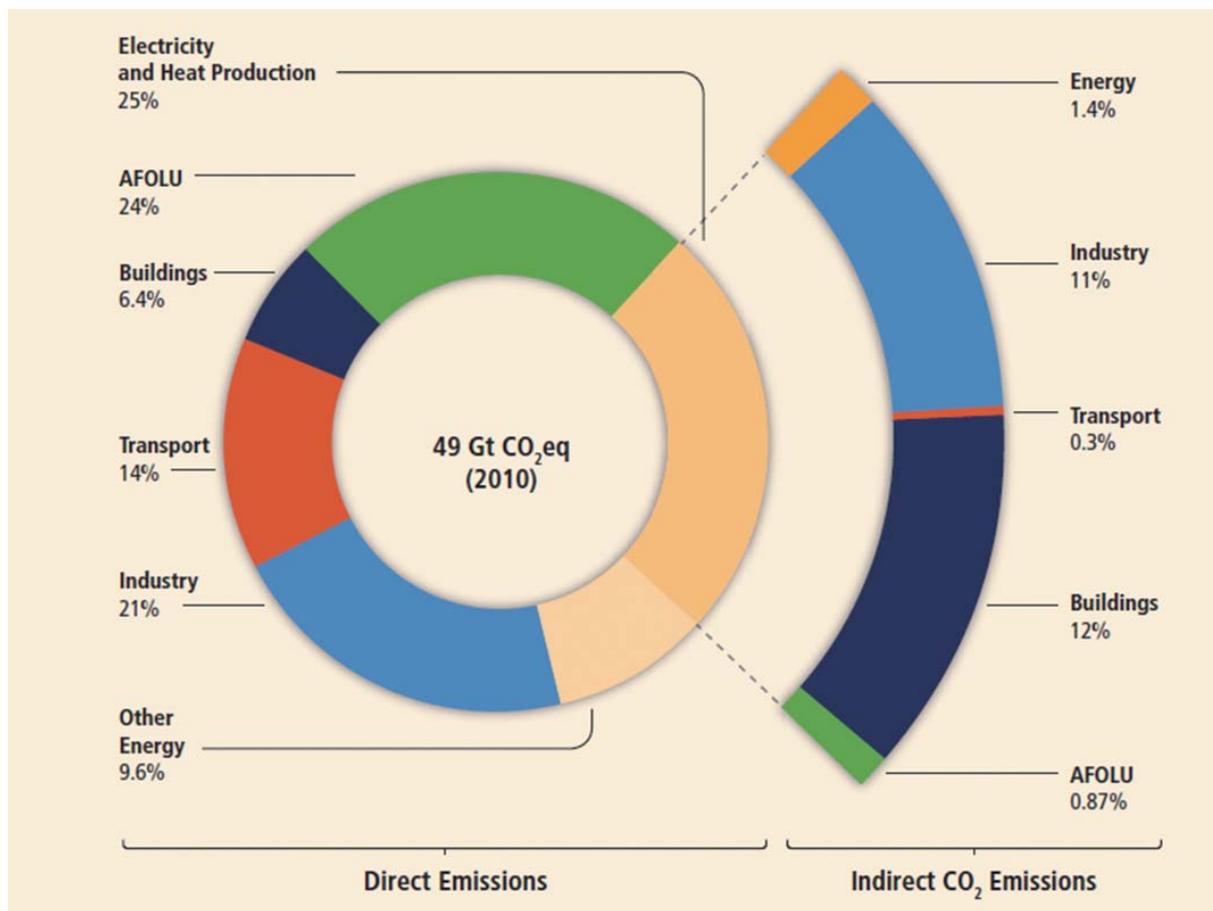


図9：2010年の温室効果ガス排出量 (GtCO₂eq/yr) の部門別内訳
 (出典：Figure SPM.2 IPCC WG III、2014)

02

低炭素社会への転換の必要性

第1章で見てきたように、20世紀半ば以降の人間活動、特に人為起源の温室効果ガス排出と、世界平均地上気温の上昇その他様々な影響との間に相関があることが、科学者等によって高い確信度で実証されている。

IPCC WG I (2013) によれば、20世紀半ば以降に観測された温暖化の主因が人為的影響であった可能性が極めて高い。また、1951年から2010年に観測された世界平均地上気温の上昇の半分以上が、温室効果ガス濃度の人為的増加および他の人為的強制力との組み合わせによって引き起こされた可能性も極めて高い。さらに、南極を除く全ての大陸域において、20世紀半ば以降の地上気温の上昇に人為的強制力が大きく寄与していた可能性が高く、温暖化への人為的寄与に関する最良推定値は、同期間に観測された温暖化と同程度であった。

20世紀半ば以降、世界規模で観測されている極端な気温の日の頻度や程度の変化に人為的影響が寄与している可能性が非常に高く、一部の地域において、人為的影響による熱波の発生確率が2倍以上になっている可能性が高い(第1章囲み1)。また、1979年以降の北極海の海氷減少、1960年代以降の氷河の後退、1993年以降のグリーンランド氷床の表面質量損失の増加、1970年以降の北半球の春季積雪面積の減少、ならびに熱膨張と氷河質量損失に起因する1970年代以降の世界平均海面水位の上昇に、人為的影響が寄与している可能性が非常に高い。一方、衛星による全太陽放射照度の直接測定結果によると、1986年から2008年までの世界平均地上気温の上昇に全太陽放射照度が寄与していなかったことが高い確信度で分かっている(IPCC WG I、2013)。

温室効果ガスを排出し続ければ、温暖化がさらに進行し、気候システムのあらゆる要素で変化が起こること、また、気候変動を抑えるには、温室効果ガスの排出量を大幅かつ持続的に削減する必要があることについて、科学者の意見は一致している。削減はRCP 2.6 シナリオと同程度必要となる。

そこで2010年、カンクンでの気候変動枠組条約(UNFCCC¹¹)の締約国会議において、各国は世界の気温上昇を産業革命前の水準から最大2℃に抑えることに合意した(UNFCCC、2010)。これは、条約の第2条にある基本方針、すなわち、「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化するための水準」と見合うとみなされてきた。条約は更に、「そのような水準は、生態系が気候変動に自然に適応し、食糧の生産が脅かされず、かつ、経済発展が持続可能な態様で進行することができるような期間内に達成されるべきである」としている(IPCC WG III、2014)。よって科学者等は、世界の平均地上気温が産業革命前よりも2℃以上上昇すれば、様々な気候の変化が引き起こされて、人間やその他の生物に悪影響が及ぶということに合意している。

2015年に採択された気候変動に関するパリ協定は著しい前進をみせ、産業革命前からの気温上昇を2度より十分に低く抑える目標を掲げたうえ、さらに1.5℃以内とより厳しい水準へ努力するとした。このことにより、気候変動によりリスクと影響をかなり和らげることができる(図10及び図12参照)。

11 国連気候変動枠組条約(UNFCCC)は気候変動に対応する国際条約である。第4章4.1節にて詳述する。

■ 予測される気候変動の影響 (2°C: 危険レベル)



図 10: 気候変動による影響予測 (出典: Fig.1 LCS-RNet, 2010)

2.1 なぜ低炭素社会(LCS)への転換が重要か

第1章で述べたように、世界平均気温の上昇と気候変動の増加は、大気中温室効果ガス濃度の上昇と強く相関しており、気候を安定させるには、自然が吸収できる量まで排出レベルを下げる必要がある。国際的に合意された目標である2℃未満に抑えるためには、人為的な温室効果ガス排出量、特に炭素排出量を、大幅に削減する必要がある。2℃目標のためには、世界の温室効果ガスの純排出量を今世紀後半にゼロに近づける必要がある(DDPP、2015)。パリ協定では1.5℃に抑える努力を追求することとしているが、このためには排出量を早めにゼロレベルに抑えていくしかない。一方、緩和策を全くとらなかった場合、世界平均地上気温は今世紀中に3.7℃から4.8℃上昇する可能性がある。

図11、及び図12はRCPシナリオの温室効果ガス排出量の範囲と全球の平均地上温度の上昇に与える影響と関連するリスクを示す。RCP2.6のみが気温上昇を2℃以下に抑え、関連するリスクがほとんどなくなる可能性が高いシナリオである。

人為起源のCO₂排出量のみによる温暖化を、66%以上の確率で、1861～1880年の平均気温から2℃未満に抑えるには、同期間以降の全ての人為的発生源からの累積CO₂排出量を0～約1000 GtC(3670 GtCO₂)に維持しなければならない。ただし、RCP2.6シナリオにおいてCO₂以外の放射強制力を考慮に入ると、同上限値は約790 GtC(2900 GtCO₂)に低下する(IPCC WG I、2013)。ただし555 GtCは今までにすでに排出されていることから、もし危険な影響を食い止める必要があるのであれば、今後人類が排出できるのは235 GtCしか残っていないことになる。このことは、第1章の図5からも説明できる。

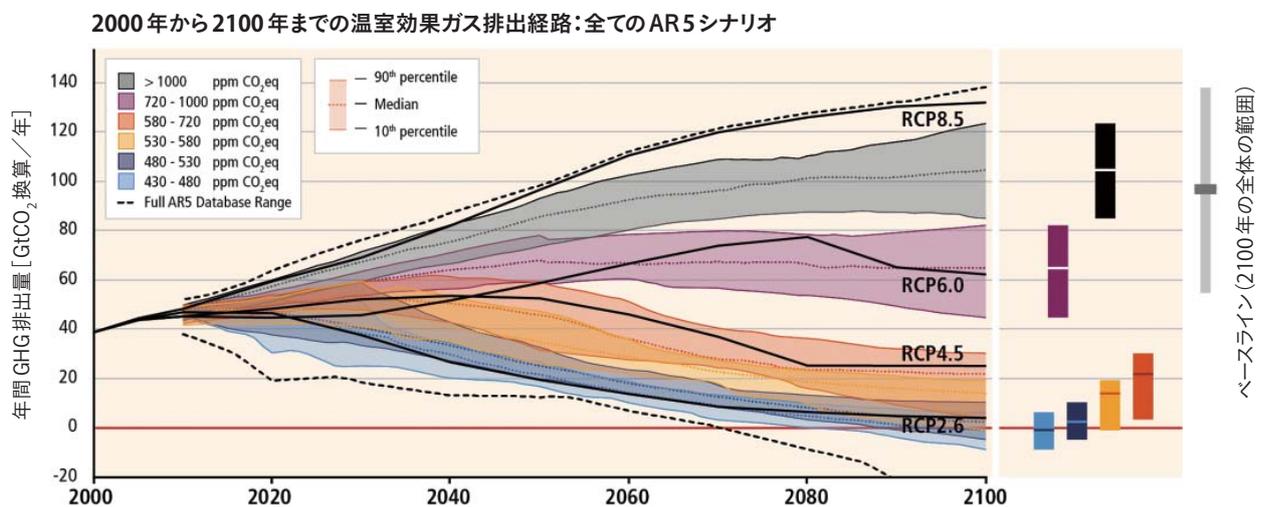


図11: 温室効果ガス排出経路とRCPシナリオ (出典: Figure SPM.4 IPCC WG III、2014)

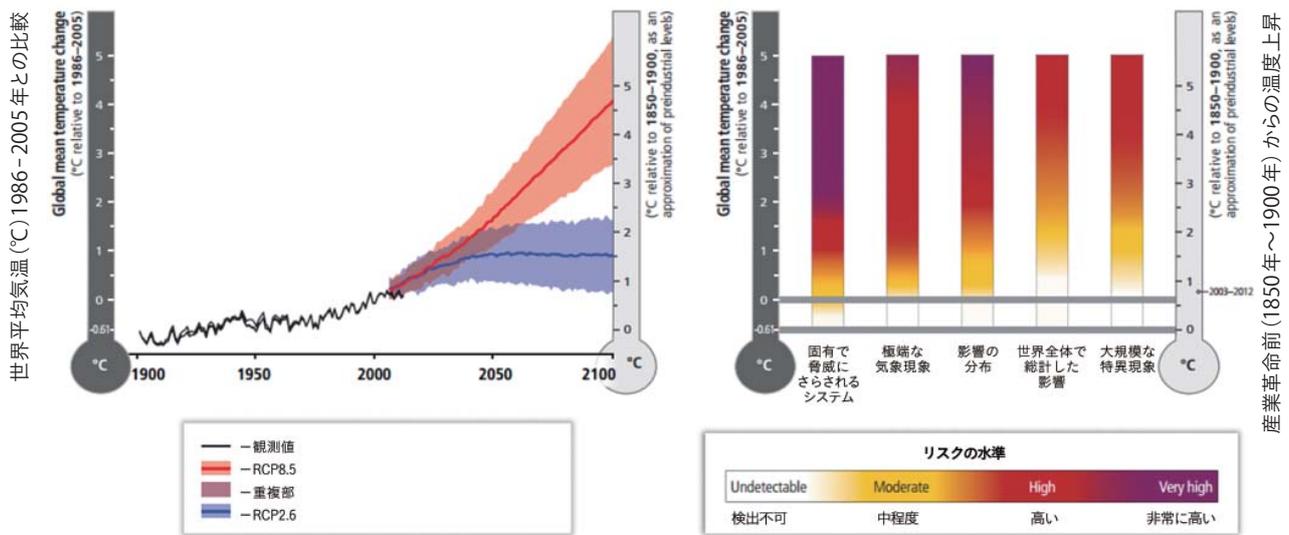


図 12： 気温上昇に伴うリスクの増加 (出典：Assessment Box SPM.1 Figure 1 IPCC WG II, 2014)

IPCCによれば、温度上昇を2℃に抑えるためには、2050年までに温室効果ガスの排出量を2010年比で40～70%減らす必要がある。1.5℃目標を達成するには、より抜本的な排出量の削減が必要で、2050年までに70～90%減らす必要があるとしている (Tollefson及びWeiss、2015)。

ゆえにカンクン合意 (2010年) や、その後のほとんどすべての国際会議や、パリ協定を含むすべての合意は、大きな機会をもたらすと共に、持続的な高成長と持続可能な発展を確保する低炭素社会 (LCS) の構築に向けたパラダイムシフトの重要性を強調している (甲斐沼及び Pandey、2015)。「低炭素社会」という用語が知られるようになったが、研究者や政策担当者の一部のグループは、違う用語、すなわち、「deep decarbonisation (大幅な脱炭素化)」などの用語を使っており、これらは同じような意味をもっている。

つまり、低炭素社会 (LCS) への移行は人類の生存に不可欠である。IPCC WG III (2014) によると、2000年から2010年の間に世界の温室効果ガス排出量は毎年約100億トン (炭素換算) 増えている。この10年間の前は、100億トン (炭素換算) 増加するのに約25年 (1975年～2000年) を要した。このことから、ここ数十年の平均増加率がいかに速いかがわかる。さらに、過去260年間における人為起源の累積CO₂排出量の約半分は過去40年間に排出したもので (IPCC WG III、2014)、この10年間の増加ペースがそれ以前と比べて加速していること示唆している。従って、何の対策もとらず、このまま現在のペースで排出し続ければ、2040年頃またはそれより前に取り返しのつかない局面を迎えるおそれがある。科学者の大半は、悪影響の一部が不可逆的になるのを防ぐには、また、2050年から2100年までに低炭素社会を実現するには、低炭素社会への移行を一刻も早く、今後10年から20年の間に開始しなければならないと考えている。未来の世代が持続可能な生活を送れるようにするためには、現在の世代が是正行動をとることが極めて重要である。

2.2 低炭素社会の特徴

低炭素社会とは、名前が示すように、低、或いは殆どゼロ炭素排出の社会である。しかし一見単純なこの名前には深い理念が含まれている。低炭素社会が目指しているのは、あらゆる部門のCO₂排出量を最小限に抑え、自然と共存したよりシンプルで質の高い暮らしへの移行である(Ho及び松岡、2012)。Skea及び西岡(2008)によると、低炭素社会を実現するには持続可能な開発の原則に沿った行動をとる必要があり、社会のあらゆるグループの開発ニーズを満たすと共に、世界のCO₂その他温室効果ガスの排出量を大幅に削減し、同濃度を危険な気候変動を防ぐ水準に安定させる、国際的取り組みへの公平な貢献を確保しなければならない。低炭素社会にはもう一つ、温室効果ガス排出量の少ない消費・行動パターンを取り入れた社会という定義がある(LCS-RNet、2010)。すなわち、低炭素社会の実現には、技術、エネルギーシステム、生産・消費パターン、社会的価値体系及びライフスタイルを劇的に変化させなければならない(甲斐沼ら、2013)。以下でいくつかの側面について検討する。

2.2.1 LCSとエネルギー

エネルギーの供給と消費、特に化石燃料への依存、また様々な経済その他の活動での非効率的なエネルギー消費がCO₂の主な排出源となっている。従って、この問題を緩和するにはエネルギーシステムを大規模に変革する必要がある。低効率で高炭素強度という特徴を持つ現行のエネルギーシステムは、高炭素社会に内在する要素である。低炭素社会や温室効果ガスの大幅な排出削減についての国際的な、また各国の研究はほぼすべてにおいて、低炭素目標を達成するには、エネルギー効率を向上させ、再生可能エネルギーその他低炭素エネルギー源を中心とした電源構成に転換することが何よりも重要だと結論づけている。Reilly(2013)は、大気の安定化という目標を掲げるのであれば、長期的に見ると、燃料や煙突、大気からCO₂を除去しない限り、実質的に化石燃料を一切使えなくなると主張している。さらに、大半の研究は需要サイドの対策の重要性も強調しており、甲斐沼ら(2013)は、需要サイドの最終エネルギー需要を減少させ、供給サイドの脱炭素化を図ることで、2℃目標の達成に重要な役割を果たせると主張している。

LCSとエネルギーの関係は、茅恒等式(式1)によって分かりやすく説明されている。

$$\text{排出量} = \left(\frac{\text{排出量}}{\text{一次エネルギー消費}} \right) \times \left(\frac{\text{一次エネルギー消費}}{\text{GDP}} \right) \times \left(\frac{\text{GDP}}{\text{人口}} \right) \times \text{人口} \quad (1)$$

この恒等式は、国、地域または世界の総排出量を左右する主な要因を示している。第一項で求めるのは、一次エネルギーの平均排出強度、すなわちエネルギー単位利用あたりに排出される温室効果ガス量(CO₂排出量の場合は炭素強度)である。この要因の緩和とは、一次エネルギーの炭素強度を削減することを意味し、一次エネルギーの構成を見直してより環境に配慮したエネルギーの比率を高める方法と、適切な技術処理によって化石燃料からの排出量を削減する方法がある。第二項が求めるのは、経済活動単位における平均一次エネルギー強度で、この要因は、(1) 活動パターンや行動を変えて経済活動単位における最終消費エネルギー投入量を削減する、(2) 経済活動に用いる最終消費技術・プロセスのエネルギー効率を高める、(3) 既存のエネルギー担体をより効率的なものに切り替えるべく最終消費技術・プロセスを変更する、(4) 最終消費技術・活動において、エネルギーを使うものを使わないものに切り替える、といった複数の方法で緩和できる。またこの要因は、一次エネルギー担体から二次エネルギー担体への変換効率を向上させて緩和することもできる。

第三項と第四項は、経済価値と人口に関連している。この二つの項は共に、経済活動レベルや、エネルギーを使用する全てのサービス・活動の需要に影響を与える。もちろん同需要を減少させることも排出量緩和の選択肢の一つであるが、現代社会のように、地域・国・州・県・市・村の至る所で経済格差が広がり、特に発展途上国の多数の人が、雇用、住宅、清潔な水、食料、保健医療、教育、電気などの基本的な生活手段にアクセスできない状況では、期待できる効果は限られている。従って式(1)の場合、LCSの達成を目的とした対策の潜在力を最大化できるのは、エネルギーの供給・消費と密接に関連している第一項と第二項である。

図13は、10年ごと、四つの要因ごと、すなわち人口、一人当たりの収入(GDP)、GDPのエネルギー強度とエネルギーの炭素強度ごとの、化石燃料からのCO₂排出量の変化の構成を示したものである。全球的に、化石燃料からのCO₂排出量の増加の最大の要因が経済成長と人口増加であることが示されている。2000年から2010年の間では、経済成長と人口増加のCO₂排出量増加への寄与はエネルギー強度の改善によるCO₂排出量減少寄与より大きい(IPCC WG III, 2014)。しかしながら、先にも述べたように、経済成長と人口増加という二つの要素について、政策が行えることは限られている。それ故、残された二つ、即ち、エネルギーに対する炭素強度とGDPに対するエネルギー強度の改善を図ることが極めて重要である。これは、削減が技術システムの変化のみならず、社会経済的な構造や行動様式にも影響を受けることを示している。

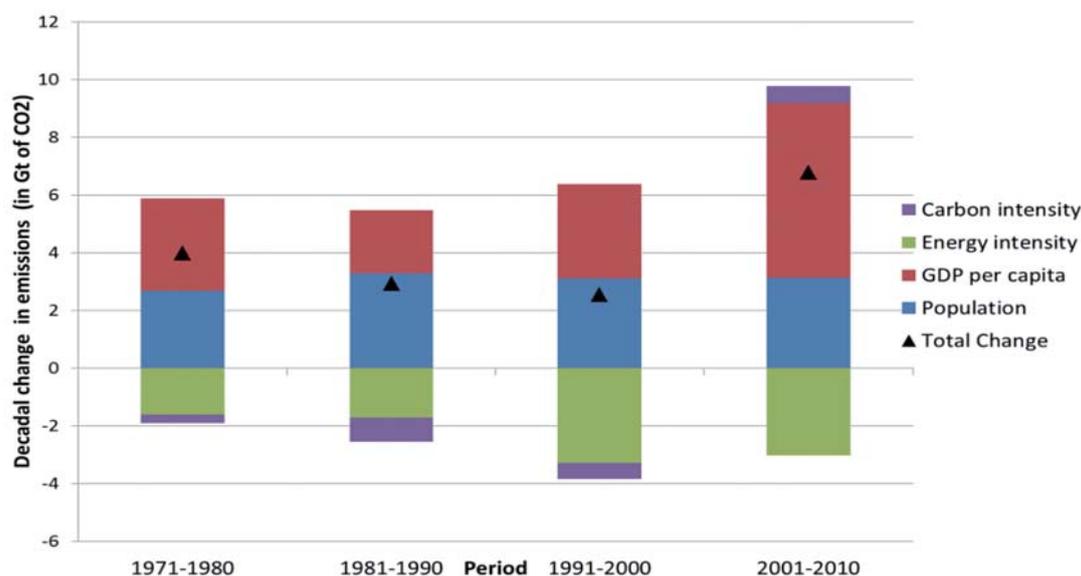


図13：世界のエネルギー関連CO₂排出量の10年変化の内訳 (出典：Figure SPM.3 IPCC WG III, 2014)

2.2.2 LCSと持続可能な開発

2015年9月、国連の持続可能な開発のための2030年アジェンダが採択された。貧困を撲滅し、地球環境を保全し、繁栄を確実なものとし、平和、公平でかつ包摂的な社会を醸成していくとするものである（UN、2015）。持続可能な開発のための2030年アジェンダは気候変動緩和目標をもその中に包含しており、温室効果ガス削減や再生可能エネルギーの推進がその対象となっている。同じように、気候変動に関するフォーラムや合意もまた、持続可能な開発目標との統合を強調してきている。

カンクン合意（2010）やパリ協定（2015）は、LCSへの転換を訴えつつ、持続可能な開発の重要性も強調している。IPCC WG III（2014）は、気候変動の影響に歯止めを付けることは持続可能な発展と貧困の撲滅を含めた衡平性の達成のために必要であるとした。一方で、幾つかの緩和努力は持続可能な発展、貧困の撲滅や衡平性に逆に作用する可能性がある。よって、単に緩和や適応政策に焦点を当てるだけでなく、開発の方向を、その決定要因も含めてもっと幅広く調べ、包括的に気候政策を評価する必要がある。

環境と開発に関する世界委員会（ブルントラント委員会、1987）の報告書は、持続可能な開発について、「将来の世代が自らの欲求を満たす能力を損なうことなく、現在の世代の欲求も充足させるような開発」と定義している。言い換えれば、持続可能な開発では、社会が掲げる社会的・経済的・環境的目標のバランスを取ることが求められる。経済活動の成長と維持にはエネルギーを含む天然資源の利用が伴い、そのことが気候変動など環境や生物圏に影響を与えている。従って、LCSの構想および目標と持続可能な開発との間には強い相関がある。

アジア太平洋統合モデルチーム（2007）は報告書の中で、開発と気候行動を連携させることは、持続可能な軌道に沿った開発の道筋を形成する上で本来備わっている過程だと強く主張している。さらに同チームは、局地汚染の改善や土地保全、資源利用の向上など、国レベルの持続可能な開発目標がLCSへの移行の推進力になると考えている。また橋本と森口（2013）は、温室効果ガス排出量の削減を達成するには、需要管理、軽量化、代替、長寿命化、リサイクルなどの手段によって炭素集約的な物質の利用を削減することが重要であると強調している。これらの対策は、持続可能な利用と資源管理の分野に分類される。

LCSと持続可能な開発との相関はよく認識されているが、この関係には二つの視点がある。従来の視点が重視しているのは、局地大気質の改善や土地保全の向上など、持続可能な開発目標のための気候変動緩和・適応行動をもたらすコベネフィットで、このアプローチは、気候行動が国または地方の開発目標を阻害しないようにすることを目的としている。もう一つの視点は、持続可能な開発の観点から気候変動を捉えるものである。排出の促進要因と適応・緩和能力は開発の道筋によって形成されるとし、開発と気候行動を連携させることは持続可能な軌道に沿った開発の道筋を形成する内在的プロセスだとみなしている（アジア太平洋統合モデルチーム、2007）。研究者や政策立案者の間で後者の視点への支持が増えており、特に発展途上国が多いが、先進国からも支持を得ている。

持続可能な開発の道筋を進むには生活様式を変える必要があることは明らかだが、LCSの実現を推進すること以外にもメリットがあるという点でこの道筋を正当化することができる。GEA（2012）の報告書は、エネルギーと持続可能性という二つの目標が、温室効果ガス排出量の削減だけでなく、様々な社会的・経済的目標において大きな利益をもたらすことを実証している。また同報告書は、保健・環境・経済面で国や地方に利益をもたらす取り組みは、世界規模または長期的な対策よりも導入しやすいため、このようなアプローチは実際的であるという重要な指摘も行なっている。

2.3 LCS達成の実現可能性

IPCC報告書は、気温上昇を2℃未満に抑えることを目的に、温室効果ガス排出量を2050年までに現状から半減するための道筋は妥当なものであることを示している。またRCP2.6シナリオも、2℃の上昇を避けるために温室効果ガス排出量を現状から50%削減するという目標は実現可能かつ妥当であると示唆している。これは、2050年の一人当たりの平均年間温室効果ガス排出量を約2tCO₂にしなければならないことを意味している。

複数の研究、例えば、DDPP(2015)、アジア太平洋統合モデルチーム(2013)、甲斐沼ら(2013)、藤森ら(2013)、GEA(2012)、ETP(2012)等による綿密な分析の結果、予測される経済成長と人口増加を考慮しつつ、温室効果ガス排出量を大幅に削減することは世界のほぼ全ての地域で可能であるとしている。

例えば、低炭素アジア研究ネットワーク(LoCARNet)と、アジア太平洋統合モデル(AIM)チームはアジアの低炭素シナリオの分析を行い、10の方策の組み合わせを通じてその実現可能性について報告している。アジアの研究者と政策担当者によるLoCARNetイスカンダル・マレーシア宣言はアジアが低炭素社会に到達する可能性と成功例についてのいくつかの興味深い点を示している(囲み2)。

別の例として、16カ国の研究チームにより、現在の世界のCO₂排出の74%がエネルギー起源であることを示した共同研究がDDPP(2015)によって実施された。これによれば、2010年から2050年までの16カ国の平均の人口の伸びを17%、GDPの伸びを250%と仮定すれば、最も野心的なシナリオで、エネルギーに関連した総CO₂排出量は2010年のレベルの48~57%に抑えられ、これは2℃目標を達成できる水準である(図14)。このシナリオでは、各国において、2010年と比較してGDP当たりの平均排出量の削減は87%であり、2050年の一人当たり排出量は2.1tCO₂となる(図15)。

2035年までに世界の一次エネルギー需要増加分の90%以上を占めると予測されている発展途上国では(IEA、2011)、将来の投資について、長寿命の高炭素エネルギー技術へのロックインという問題が懸念されている。現在、多くの発展途上国ではエネルギー資本が不足している。このことは、新たなエネルギーシステムを開発する機会だけでなく、多様なエネルギーインフラや、建築物・都市構造という形で表される極めて寿命の長い資本ストックによって、実質的な炭素ロックインを減少させる機会ももたらず(Guivarch及びHallegatte、2011、Jaccard及びRivers、2007)。したがって、多くの発展途上国や新興経済国にとって、新しく、また低炭素な資本投資へのリープフロッグは明らかに実現可能な選択肢である。

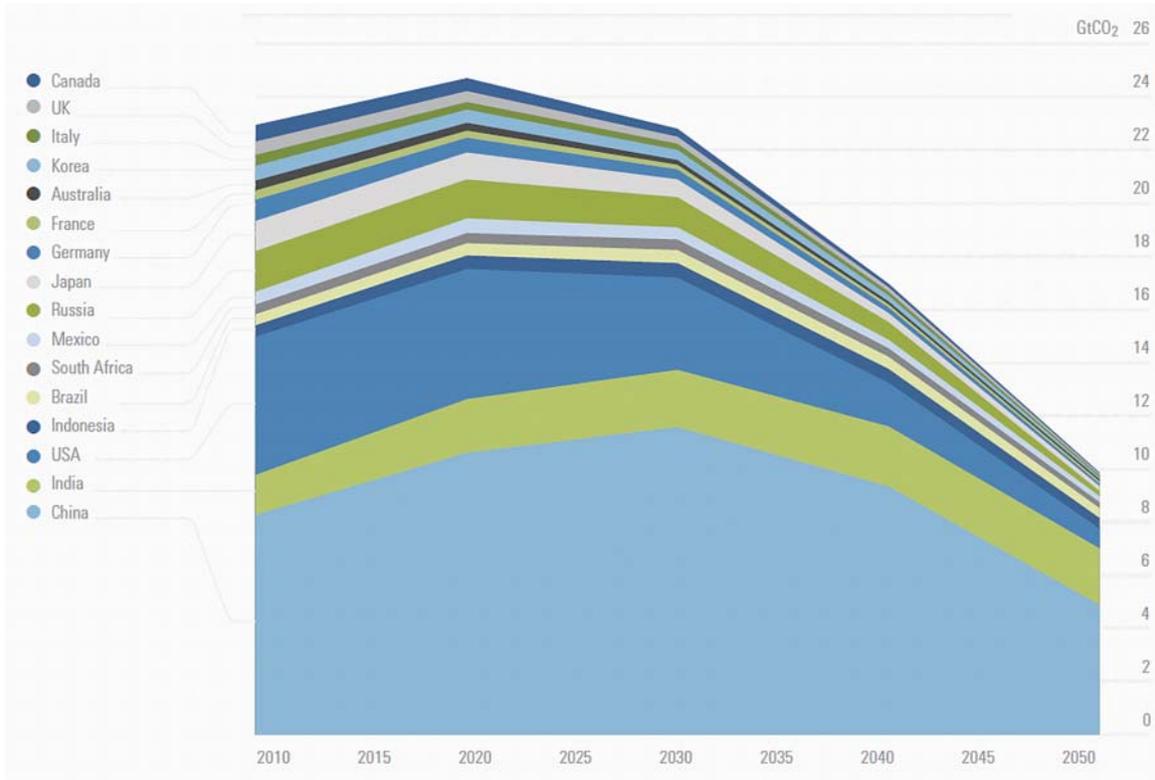


図 14：CO₂ 排出量の予測 (2010年－2050年) 16カ国の最も野心的であるが可能な削減シナリオの場合
(出典：Figure 1 DDPP、2015)

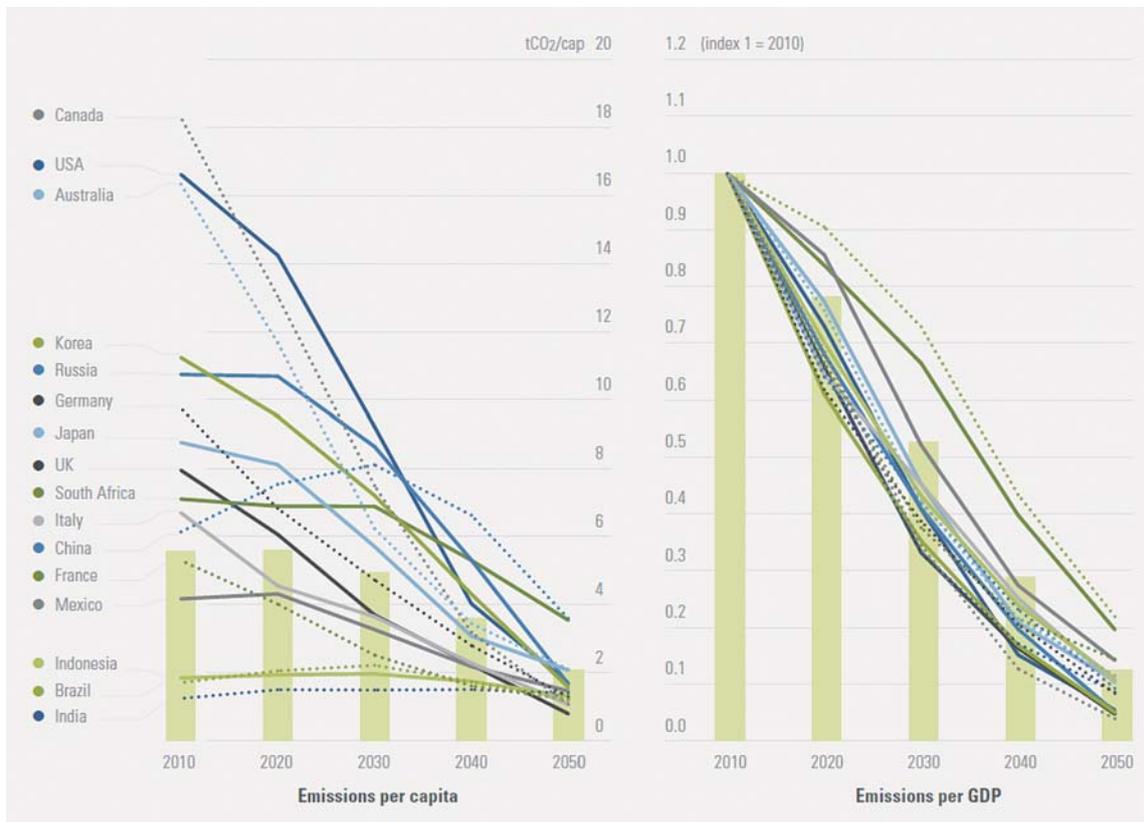


図 15：(左) エネルギー関連の一人当たりCO₂ 排出量；(右) 16カ国のGDP当たりのエネルギー関連のCO₂ 排出量 (2010年－2050年、2010年値 = 1)
(出典：Figure 2 DDPP、2015)

図み 2: アジアにおける LCS の必要性と可能性

2005年時点のアジアの温室効果ガス排出量は世界全体の約38%を占め、低炭素社会の構築に向けた対策をとらなければ、同排出量は倍増すると予測されている。一方で、温室効果ガス排出量をアジアの参照ケースよりも69%削減できる可能性がある。下記の表は10の方策をとることでアジアにおいて69%の温室効果ガス排出削減の可能性を示している。これらの方策については第3章3.2節で後述する。

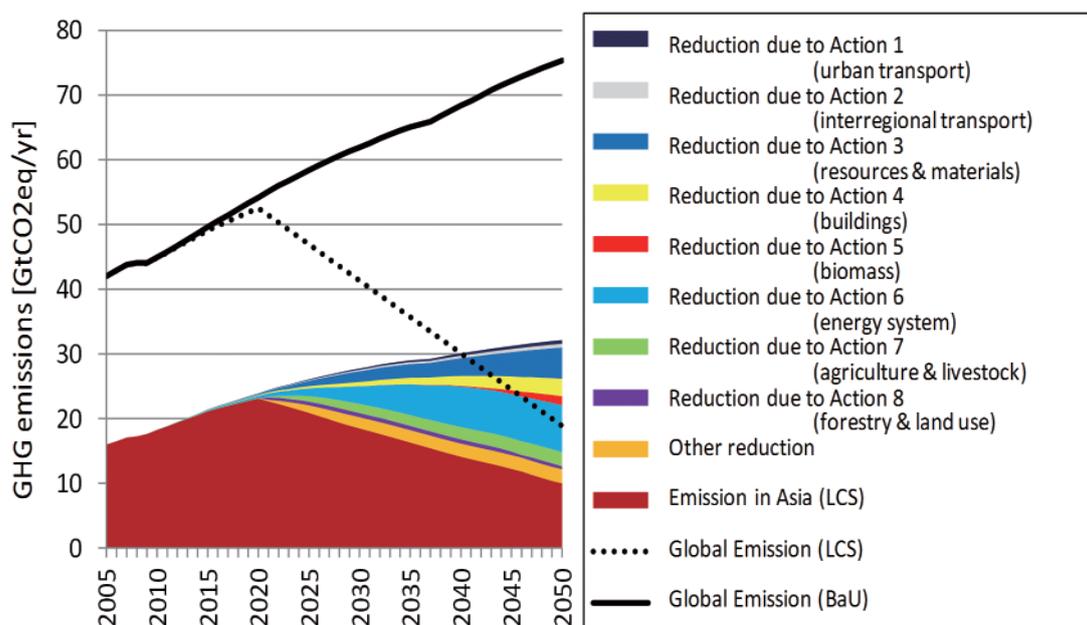


図: 低炭素アジアに向けた10の方策の貢献と世界温室効果ガス排出量

LoCARNet イスカンダル・マレーシア宣言は、2015年にマレーシアにて、低炭素アジア研究ネットワークによって発表された。宣言では、アジア経済がグリーン成長を含む持続可能な低炭素経済へと遷移することを加速すべきであり、それは質素節約の精神、集団行動の実施、充足(足るを知る)経済、相互扶助の精神といったアジアの知恵を集結することにより、アジアの人々が積極的な気候安定化行動をとることができるように力を与える、包摂的かつ権限のある政策をとることにより、更には科学的な根拠に基づくのみならず実施に向けた政策を作っていくことにより実現可能であるとしている。宣言では、アジア諸国は、グリーン成長を目指すことで持続可能な低炭素経済への転換を加速させる必要があり、気候変動の緩和・適応行動によってアジアの経済成長に新たな機会と可能性が生まれることを重視すべきとしている。また、能力開発、相互学習、技術移転、技術支援および資金援助において、南北協力および南々北協力という形で世界的・地域的なスマート・パートナーシップを構築することが、気候変動に強じんな低炭素社会への移行を実現し、同時に地球の平均表面温度の上昇を産業革命前と比べて1.5℃から2℃に抑えるという目標を達成するためのカギとなる、としている。

出典: アジア太平洋統合モデルチーム (2013)

低炭素社会への変革を進めていくためには、すべてのセクターにおける炭素強度の大幅な削減を通じて、エネルギーシステムの転換に切り込んでいく必要がある（DDPP、2015）。この章では、低炭素社会の主要部分となると考えられるエネルギーと社会経済的なシステムの主な構成について、様々なエネルギー及び気候モデルや研究チームによる成果を引きながら詳述する。

LCSを実現する主な要素には、1) 発電部門の脱炭素化、2) 建築物、産業、輸送の一部での化石燃料の直接利用から電気への代替、3) 技術その他の代替手段（例：持続可能な資源利用）によるエネルギー需要の削減が挙げられる。

甲斐沼及びPandey（2015）は、様々なエネルギー・排出モデリングの専門家チームが分析した複数のLCSシナリオを検証した。これらのシナリオは、時間的・空間的側面、つまり大幅な炭素削減の対象期間または目標年や、空間的または地理的に分類された政治的・経済的主体がそれぞれ異なっている。対象期間は、短期（2025年頃まで）、中期（2050年まで）、長期（2100年まで）、空間的範囲は、都市、国、世界レベルに分けられている。検証したのは、甲斐沼ら（2012）、GEA（2012）、WEO（2012）、ETP（2012）、および藤森ら（2013）のシナリオだった。国レベルのシナリオでは、日本－アジア太平洋統合モデルチーム（2007）、中国－Jiangら（2013）、インド－Shuklaら（2011）およびShuklaら（2008）、ブラジル－La Rovereら（2013）、タイ－Limmeechokchai（2010）、ネパール－ShresthaおよびShakya（2012）が対象で、地方・県・都市レベルのシナリオでは、日本・京都－五味ら（2011）、インド・ボパール－五味ら（2013）、マレーシア・イスカンダル－Ho及び松岡（2012）、韓国・京畿道－Leeら（2012）が対象となった。

上記LCSシナリオの結果を表2にまとめた。どのシナリオにも共通している特徴がいくつかある一方で、シナリオによって異なる特徴もあった。地域・国固有の特徴（例：国内のエネルギー資源ベース、現在の技術進歩レベル）や、モデリングチームが行ったシナリオ固有の仮定に違いがあったのがその理由である。

世界・国レベルのLCSシナリオに共通の特徴は、再生可能エネルギー技術の急増とエネルギー供給サイドの変換効率向上、エネルギー需要部門における省エネ対策の普及である。一方、シナリオの相違点は、原子力技術とCCS¹²技術の利用可能性、および持続的供給が可能なバイオマス・バイオ燃料供給の規模と主に関連している。将来的な利用可能性と選択肢の妥当性によって仮定が異なり、供給サイドと比べた需要サイドの温室効果ガス総削減量に対する相対寄与の相違もある。これらシナリオの結果は、エネルギー供給部門で利用可能な低炭素技術の範囲、および需要部門の行動変化が与える影響に関する仮定によって左右される。

地方・都市レベルのLCSシナリオでも、再生可能エネルギーの選択肢（例：住宅部門その他最終消費部門での分散型エネルギー）について様々な想定が行われる。ただしより重視されるのは、住宅、商業、輸送、産業分野の最終消費部門における効率性向上策や行動の変化である。また、都市の再設計、都市公共交通手段の具体的な組み合わせ、森林再生とバイオマス供給といった特定の対策も、各地域の特徴によって決まる。

12 二酸化炭素（CO₂）の回収、貯留（carbon capture and storage: CCS）は、化石燃料発電所やその他CO₂を排出する工場や設備から排出されたCO₂を分離回収し、貯留場所に輸送し、これが大気中に出てこないよう、安全に貯蔵する技術またはプロセスのことを言う。

表2: LCSシナリオ結果の概要: エネルギー及び社会経済システムの共通点と相違点

シナリオの種類	対策の種類	エネルギー供給サイド	エネルギー需要サイド
世界・国レベルのシナリオ	共通の特徴	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー: 太陽光、風力、バイオマス 変換効率の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ技術その他最終消費部門の対策 需要の削減は供給サイドへの負担を緩和しコストを節約する
	地域・シナリオによって異なる特徴	<ul style="list-style-type: none"> 原子力の利用規模 CCS技術導入の規模 バイオマスとバイオ燃料の利用規模 	<ul style="list-style-type: none"> 総排出削減量に対する需要サイドの対策の相対的寄与 行動の変化とその程度
地方・都市レベルのシナリオ	共通の特徴	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー: 集中型および分散型 	<ul style="list-style-type: none"> 住宅、商業、産業、輸送部門の省エネ技術 都市公共交通システム 環境に配慮した生活様式への行動変化
	地域・シナリオによって異なる特徴	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーの組み合わせ バイオマスとバイオ燃料の利用規模 	<ul style="list-style-type: none"> 都市設計/コンパクトシティ 都市の交通手段の組み合わせ 森林再生 行動変化の程度

(出典: 甲斐沼及び Pandey, 2015)

図16に国立環境研究所とみずほ情報総研によって行われた低炭素社会シナリオ分析の一例を示す(NIES及びMHIR、2015)。本分析ではエネルギー供給部門と需要部門の双方からの温室効果ガス削減の削減可能性が高いことを示している。図では、「低炭素社会タイプ」の緩和シナリオを、緩和を行わない参照シナリオと比較している。緩和シナリオでは、2020年の温室効果ガス排出量はコペンハーゲン¹³で議論された数字、2030年は各国が約束草案¹⁴で提示した数字をとり、21世紀後半に向けてゼロとなるように設定されている。これは供給サイドと需要サイドの対策を併せて初めて可能である。2100年の世界の一次エネルギー供給量は参照レベルのシナリオと比べて約60%である。これには主にエネルギー需要の対策が貢献している。さらに、供給サイドのエネルギーミックスは化石燃料から非化石燃料へと大きく変わっており、再生可能エネルギーは2100年の電力供給において75%を占めている。表2では主な対策についても触れている。

3.1 エネルギー供給サイドの対策

エネルギー供給の脱炭素化は、ほぼ全てのLCSシナリオにおいて温室効果ガス削減の最も重要な寄与因子である。エネルギー供給サイドの対策は、主に太陽光、風力、バイオマス、水力などの再生可能エネルギーに依存し、2050年の世界の温室効果ガス排出量を1990年の水準から50%削減することを目標としている場合、これらのエネルギー源が2050年までにほぼ完全に化石燃料に取って代わることを目指している(甲斐沼ら、2013)。CCSや原子力の利用または容認が容易ではない場合は、エネルギー需要サイドの最終消費効率向上や行動の変化という選択肢が削減目標達成に大きく寄与する(3.2節で考察)。

世界の様々な国の専門家から成るGlobal Energy Assessment Councilは、以下の複数の目標を掲げた

13 2009年、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)締約国会議(COP)での「コペンハーゲン協定」は、先進国が2020年までに削減すべき目標を提出することについて言及している。第4章4.1節を参照のこと。

14 各国が自主的に決定する約束草案(INDC)とは、2015年の国連気候変動枠組条約(UNFCCC)締約国会議(COP)に向けて各国が提出した2020年以降の気候行動をいう。この中で、各国は2025年或いは2030年までの温室効果ガス排出削減について誓約している。第4章4.1節を参照のこと。

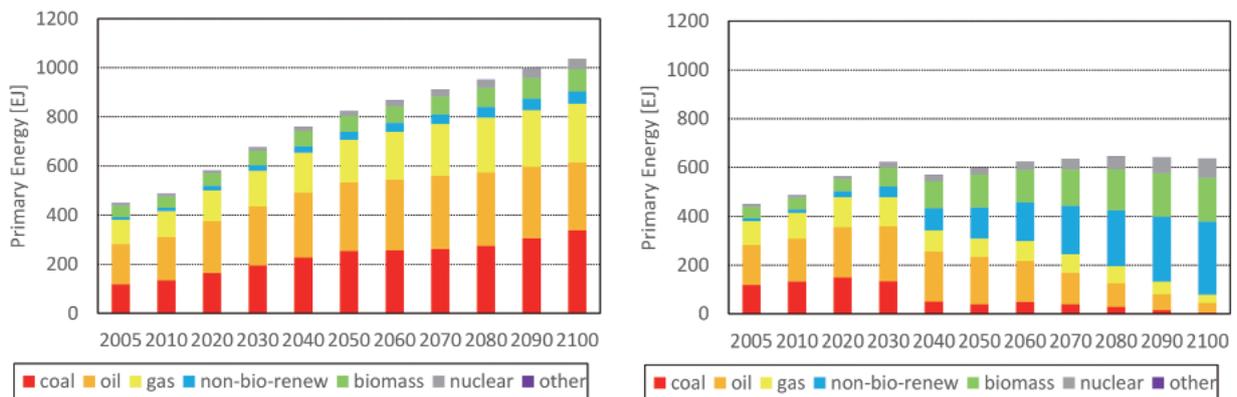


図16：地球規模の一次エネルギー供給の推移、参照シナリオ(左)と2℃目標を達成する「低炭素社会タイプ」緩和シナリオ(右)との比較 (出典：NIES及びMHIR、2015)

2100年までのシナリオについて検証した(GEA, 2012)。(i) エネルギー部門の世界CO₂排出量のピークを2020年頃とし、2050年までに2000年レベルを30～70%下回り、今世紀後半には排出量が正味ゼロまたはマイナスになるように減少させていく、(ii) 2030年までに世界の全ての人々が電気とクリーンな調理用燃料を使えるようにする、(iii) 2030年までに人口の大半がWHOの大気質指針を順守した環境で生活する、(iv) 輸入エネルギーへの依存抑制とエネルギーシステムの多様性・強靱性向上によってエネルギー安全保障を強化する。その結果、最終消費効率を大幅に向上させる対策と組み合わせれば、再生可能エネルギーの大規模普及というオプションの場合にエネルギー供給部門が目標を達成できることが示された。また、そのうちの一つのシナリオでは、再生可能エネルギーへの移行の橋渡しとしてCCS技術を採用した場合、一次エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合が2050年までに75%、今世紀末には90%に達した。

国際エネルギー機関(IEA)が発表した『世界エネルギー展望2012』(WEO、2012)は、2℃目標を達成するために2035年までに取るべき行動を検証した「450シナリオ」について報告している。同シナリオは、2020年よりも前に世界CO₂排出量のピークを迎えることを求めており、排出量の21%を再生可能エネルギーによって削減すると想定している。再生可能エネルギーの中で最も急速に成長するのは太陽光エネルギーで、バイオマス(発電用)とバイオ燃料は国際貿易の増加で4倍に増えると見込んでいる。WEOの450シナリオによると、CCS技術が広範に普及しない場合、2050年までに消費できる化石燃料は確認埋蔵量のわずか3分の1になる。このことは、将来の低炭素社会において、再生可能エネルギー源と再生可能エネルギー技術が極めて重要な役割を果たすことを強調している。

IEAが発表した『エネルギー技術展望(ETP)2012』の2℃シナリオ、いわゆる「2DS」では、2℃目標の達成と持続可能な未来の両方を実現するために必要な2050年までの選択肢を模索している(ETP、2012)。それによると、2050年まではクリーンエネルギーや省エネ対策への多額の追加投資が必要になるものの、燃料節約によるメリットの方が上回ることになる。さらに、エネルギー安全保障の強化、化石燃料輸入額の削減、局地大気汚染の減少などのコベネフィットももたらされる。エネルギー安全保障の強化に関しては、エネルギー強度が減少するだけでなく、再生可能エネルギーの増加によってエネルギー源の地理的・技術的多様化が図られることもその理由の一つである。世界の総発電量に占める割合は、2011年の19%から2050年には57%になり、絶対値では6倍の増加となる。2050年の石炭消費量は2009年よりも45%減少し、原油消費量は50%以上減少する。天然ガス消費量は10%増加するが、それは天然ガスが再生可能エネルギーによる発電出力の変動を補完する柔軟性を備えているからである。ETPの2DSは、発電部門による追加投

資の負担を抑えるにはCCSが特に重要な役割を果たすことを強調している。

藤森ら(2013)は、CCSなどの先進技術を導入する場合としない場合の両方を想定し、2050年に世界の温室効果ガス排出量を(1990年の水準から)50%削減するという目標を達成するための世界とアジアのシナリオを分析した。先進技術シナリオでは、CCSと組み合わせると、世界とアジアの両方でバイオマスが大幅に増加した。一方、従来シナリオ(先進技術なし)ではエネルギー総供給量を削減しなければならず(3.2節で考察)、原子力、風力、太陽光エネルギーなどの非化石エネルギーの割合が上昇した。

世界・地域のLCSシナリオだけでなく、国レベルのLCSシナリオも複数の研究者によって分析されている。例えば、アジア太平洋統合モデルチーム(2007)は、2050年までの日本を対象に、(A)高い技術進歩率と高い成長率、(B)低成長、分散型、地域社会中心の開発モデルという二つのLCSシナリオを分析しており、2050年の温室効果ガス排出量を1990年の水準から60~80%削減するというLCS目標を設定している(西岡、2012)。その結果、両方のシナリオでトレンドブレイクとなる選択肢が数多く確認されたが、その組み合わせは異なっていた。いずれのシナリオも太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーの重要性を示していたが、決定的な違いもあった。一つ目は、エネルギー需要サイドの対策がエネルギー供給サイドで求められる変化と取り組みの程度を左右することで、二つ目は、シナリオBにおいて、分散型エネルギー供給という選択肢が、エネルギー供給サイドの負担をさらに大幅に軽減する可能性があることである。この需要サイドの選択肢については3.2節でさらに考察する。

DDPP(2015)による16カ国によるLCSシナリオの分析によれば、2050年までにはkWh当りのCO₂排出量は2010年に比べてほぼ15分の1となり、電力からのCO₂排出量は2050年におおむねゼロとなる。このことは、現在の主に化石燃料による発電を、風力、太陽光、地熱、水力などの再生可能エネルギーや、場合によっては原子力発電やCCS付の化石燃料発電などに置き換えることによって達成できる。さらに、液体燃料やガスは、バイオガスや脱炭素の電力源で作られた水素などの合成燃料を用いることで脱炭素化が可能である。

これまで見てきたLCSシナリオの大多数は、基本的に、需要サイドの効率性向上と組み合わせながら、また時にはコストの影響を軽減するために天然ガス、CCS、原子力などの技術とのバランスを図りながら、再生可能エネルギーを急速に普及させるという選択肢を提言している。エネルギー供給サイドから見ると、これらの提言は燃料ミックスを低炭素エネルギーに急速に移行することを意味するが、エネルギー生産・消費の基本的構造についてはあまり触れられていない。ただし、上述のアジア太平洋統合モデルチーム(2007)のシナリオBでは、日本におけるエネルギーの分散型供給と消費の効果が検証され、同構造の転換が検討されている。

アジア低炭素社会研究プロジェクト(2013)が行った『低炭素アジアに向けた10の方策』と題する研究は、アジアでLCSを達成するために必要な10の行動に関する検証結果を報告し、より具体的な提言を行なっている。同報告書は、燃料ミックスや最終消費効率を変えるだけでなく、地元の資源を使った持続可能な地産地消への移行を強調している。生産・消費構造をどの程度変化すべきか具体的な数値は示していないが、現行の集中型エネルギー供給・消費構造の限界、並びにそれらの限界について疑問を呈して別のパラダイムを模索する必要性を指摘している。

アジア低炭素社会研究プロジェクト(2013)が提唱した低炭素アジアに向けた10の方策(図17)のうちの二つ、「地域資源を余さず使う低炭素エネルギーシステム」と「バイオマス資源の地産地消」は、大規模なエネルギー供給の移行という分野に該当する。「地域資源を余さず使う低炭素エネルギーシステム」で示された一

連の行動では、低炭素アジアに必要な温室効果ガス総排出量削減の37%に寄与する可能性があり、一群の行動としては最大の寄与が期待され、日本、中国、インドなどではさらに高い効果が見込まれる。具体的には、太陽光・風力などの再生可能エネルギーを中心とした持続可能な地域エネルギーシステムの促進、供給効率を高めるスマートなエネルギー供給システムの創出、エネルギー安全保障の確保を目的とした再生可能エネルギーシステムと化石燃料システムの統合といった行動が挙げられている。「バイオマス資源の地産地消」では、低炭素アジアに向けた温室効果ガス総排出量削減の4.7%に寄与する可能性があり、具体的な行動として、食料生産と両立する、地域のバイオマス資源を使ったエネルギーの持続的生産、実用的なエネルギーへの転換、エネルギーの地産地消が挙げられている。

エネルギーの地産地消に関しては、需要サイドの対策を適切に理解しなければ包括的な議論を行うことができない。地産地消の計画・実行には、地域分散型エネルギー供給に関する選択肢と需要サイドの選択肢を組み合わせなければならないからである。さらには、複数のLCSシナリオの結果が示しているように、需要サイドの対策は温室効果ガス排出量削減に直接的な効果があるだけでなく、供給サイドの費用を削減し、それに起因する実行可能性をも高める(訳者注: 例えば、エネルギー需要が減るとピーク需要も減る可能性が高く、無駄に施設を作らなくてもよくなる)。そのため、以下では低炭素なエネルギーと社会経済システムに関する需要サイドの特徴について見ていくことにしよう。

3.2 エネルギー需要サイドの対策

アジア太平洋統合モデルチーム(2007)が分析した二つのLCSシナリオのうち、シナリオAは、エネルギーの供給サイドと需要サイドの温室効果ガス削減レベルが同等になることを示していた。供給サイドは省エネの新技术(CCS、原子力、再生可能エネルギー)を採用する選択肢で、需要サイドでも同等の効率的な新技术を用いた選択肢となった。シナリオBのシミュレーションではエネルギーとモノの需要が低下し、エネルギー需要サイドの温室効果ガス削減量がより大きくなり、電力の利用が高まり、太陽光やバイオマスなどの分散型再生可能エネルギーの選択肢が普及する。一方、エネルギー供給サイドは、エネルギー需要が減少するため、主に太陽光、バイオマス、風力などの再生可能エネルギーの利用によって削減できる。

これらの結果は、LCSの計画・移行のための重要な教訓を提供している。まず、需要サイドの対策によってエネルギー需要が大幅に削減すれば、供給サイドにおいて、再生可能エネルギーを中心とした供給ミックスへの根本的な変革が十分かつ有効な対策になることである。満たすべき需要が減少することによって再生可能エネルギーで十分なエネルギー供給が確保され、さらにエネルギー需要の低下によって様々な最終消費部門でコストが大幅に減少することで対策の有効性が支えられるからである。第二には、大幅削減を達成するには、需要サイドの対策に、(1) エネルギーと原料の必要量減少につながる最終利用機器や生産プロセスでのエネルギー変換効率向上、(2) 最終利用機器や(その生産)プロセスでの電化促進、(3) 太陽光、風力、バイオマスなどの地域資源を用いた分散型再生可能エネルギーシステムへの依存強化など、複数の選択肢を盛り込む必要がある。また、最後の選択肢として、エネルギー供給手段であっても、現地の一般家庭、地域社会、商業・産業施設主導の取り組みであれば、需要サイドの対策とみなすことができる。

3.1節で紹介したLCSシナリオ研究の大半は、需要サイドの選択肢を詳細に分析していないものの、その重要性和総合レベルでの実現可能性を指摘している。例えば、甲斐沼ら(2013)は、CCSと原子力を導入しないLCSシナリオの方が、再生可能エネルギー技術による生産容量を早急に拡大する必要があるため投資額が増えるが、エネルギー効率向上によるコスト削減のメリットもより大きくなることを確認している。ETPの

2DSシナリオ(ETP、2012)も、2050年まではクリーンエネルギーや省エネ対策に多額の追加投資が必要になるが、燃料節約によるメリットがそれらのコストを上回ると報告している。

2℃目標と持続可能な未来の両方を分析したETPの2DSシナリオ(ETP、2012)は、2011年から2050年までの年間エネルギー効率改善率を過去40年間の同平均改善率から倍増して2.4%にすれば、同シナリオが実現することを示している。藤森、増井及び松岡(2013)の従来シナリオではCCSなどの先進技術を検討しなくても、概ね最終需要削減対策を強化することで、エネルギー強度を年間4%以上改善することによってエネルギー総供給量を減少させている。

GEA(2012)が分析したシナリオの一つ、「GEA-Efficiency経路」は、需要部門のエネルギー効率が非常に高くなることを強調しており、2050年の一次エネルギー需要の増加は2005年の水準と比べてわずか42%となる。需要が減少するため、エネルギー供給部門は主に再生可能エネルギーによって賄えるようになり、再生可能エネルギーの割合は2050年までに75%、今世紀末には90%に達する。「GEA-Supply」という別のシナリオは、(GEA-Efficiencyの想定と比べると)エネルギー効率改善率が中程度で、2005年から2025年の一次エネルギー需要は2倍以上増加する。エネルギー供給部門がそのような高い需要を満たせるのは、再生可能エネルギーとCCSを伴う化石燃料の両方に依存し、さらにその生産容量を早急に拡大する場合のみである。「GEA-Mix経路」というさらに別のシナリオは、地域や地方でのエネルギーと技術のポートフォリオの多様化を強調している。その結果、需要部門、特に輸送部門でのバイオ燃料の使用や電化といった燃料多様化の重要性が確認されている。

WEOの450シナリオに関する報告書は、2035年までに許容可能なCO₂排出量の5分の4が、既存の発電所、工場、建築物によって既にロックイン(固定化)されていると指摘し、経済的に実行可能な省エネ技術を急速に普及させて一次エネルギー需要の増加を弱めれば、完全にロックインされる時期を2022年まで先送りできると述べている。これらの対策は、2035年までに求められている削減量の半分以上に寄与する可能性がある(WEO、2012)。

16カ国によるDDPP(2015)のLCSシナリオによれば、自動車の燃費改善、建築設計や建築資材の改善、より効率のよい電気製品の導入、工業プロセスや機械の改良、都市設計を徒歩や自転車に優しい街にするなどの対策を講じることで、2010年～2050年間にGDPに対するエネルギー強度を平均で65%減らすことができるとしている。加えて、例えば自動車や温水ヒーター、工業用ボイラーなど、需要サイドで直接化石燃料を燃焼する設備を炭素排出量のない電気に切り替えると、2050年の最終エネルギー消費における電力シェアは倍増し、40%以上となる。

需要部門の対策の重要性は、複数の地域・地方レベルのLCS研究でも強調されている。それらの研究は緩和オプションを模索する目的で実施されており、現地の状況が考慮され、地元のステークホルダーが参加できる具体的な行動が検討されている。シナリオの大半は、世界・国レベルのシナリオよりも対象期間が短く、現状に近い場合、需要サイドの選択肢がより詳細に検討されている。以下では、それらの研究の一部について検証する。

五味、越智及び松岡(2011)、及び五味、島田、松岡(2010)は、2030年の温室効果ガス排出量を1990年と比べて40～45%削減するという目標を設定し、日本の京都市のLCSシナリオを分析した。供給サイドでは、

再生可能エネルギーの包括的利用が提言されたが、それらは国レベルで報告されているものとある程度似ていた。一方、需要サイドでは、地方レベルの分析の方が選択肢の幅が広く、都市の再計画(例:歩行可能な都市、エコビルディング、森林開発)、低炭素なライフスタイルに向けた行動の変化、産業の脱炭素化のための特別な対策などが挙げられた。

五味、Deshpande及びKapshe(2013)は、インド中部のボパール市を対象にしたLCSシナリオも分析しており、同シナリオでは、2035年のCO₂排出量をBAU¹⁵と比較して41%削減するという目標を設定している。エネルギー供給サイドで選択された対策の一部は、予想されていた通り3.1節で示されたものと似ていたが、集約的なレベルでは通常分析されない新たな対策(例:モニタリング・管理・課金システムの改善による配電ロスの低減)が選択された。後者の取り組みは消費者への配電管理の向上に関するものであるため、需要サイドの対策とみなすこともできる。ボパール市のシナリオで提言されたその他の主な需要サイドの対策には、エネルギー効率改善による一般家庭・商業用機器、建築物、輸送部門のエネルギー需要の削減や、統合管理並びにバス・鉄道など複数の手段を組み合わせた都市公共交通システム導入による輸送部門の改革が挙げられた。

Ho及び松岡(2012)はマレーシア・イスカンダル地域のLCSシナリオを検証し、BAUと比べた2025年の温室効果ガス排出量削減目標を40%と56%の二つに設定した。予想された通り、太陽光やバイオマスなど再生可能エネルギー供給オプションによる寄与は削減量の約4分の1で、削減の大半に寄与したのは需要サイドのオプションだった。具体的には、産業・建築物のエネルギー効率向上、行動の変化につながるコンパクト都市政策、統合交通システムとモーダルシフトを盛り込んだ都市計画などの対策である。

Leeら(2012)は、韓国・京畿道のLCSシナリオを分析し、2020年の排出量削減目標をBAUと比べて30%に設定した。エネルギー供給部門でいくつかの対策が提言されたが、需要部門ではより多くの対策が示され、森林植生の拡大、省エネ行動につながる生活様式の変化、省エネ機器の導入、都市公共交通システムの利用などが挙げられた。

地方レベルの研究と同様に、アジア太平洋統合モデルチームが発表した報告書『低炭素アジアに向けた10の方策(2013)』で提言された行動の大半は需要サイドのものだった(図17、再掲)。10の方策のうち完全に需要サイドに分類されるものは六つで、それらが低炭素アジアの実現に必要な温室効果ガス総排出削減量の約47%に寄与していた。また、他の二つの方策(一つは3.1節で詳述)も需要サイドの要素を含んでいる。これらのことを考えると、需要サイドの行動が、LCS達成に必要な温室効果ガス削減量の大半に寄与していると断言できる。以下でこれらの方策を具体的に検証する。

「階層的に連結されたコンパクトシティ」の方策には、適切に連結された階層的な中心機能を有するコンパクトシティ計画、階層的な都市公共交通システム、低炭素車(電化、バイオ燃料・天然ガスの利用)、効率的な道路交通管理システムなどがあり、これらはアジアの温室効果ガス削減量の2.2%に寄与する。

「地域間鉄道・水運の主流化」の方策はアジアの温室効果ガス削減量の3.9%に寄与し、低炭素交通システムによる空間開発、鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダルな交通システム、航空機と化石燃料車の利用削減が含まれる。

15 BaUとは、「成り行き」シナリオを示す。緩和シナリオと比較した参照ケースとして作成される。

「資源の価値を最大限に引き出すモノ使い」の方策がアジアの温室効果ガス削減量に寄与する割合は17%と大きく、原料の使用量削減につながる高効率の新生産加工技術、製品の長寿命化、原料資源の再利用システム開発などがある。素材の必要量が減少することでその製造エネルギー消費量が削減され、温室効果ガス排出量の削減につながっている。

「光と風を活かす省エネ涼空間」の方策はアジアの温室効果ガス削減量の13%を占め、もう一つの大きな寄与因子になっている。具体的には、建築物のエネルギー効率向上、建築物への省エネ機器(特に冷暖房設備)導入、省エネ努力の見える化とインセンティブの提供が含まれる。

「バイオマス資源の地産地消」の方策はアジアの温室効果ガス削減量の4.7%に寄与し、バイオマスの高度利用による住環境レベルの改善は主に需要サイドの対策である。

「地域資源を余さず使う低炭素エネルギーシステム」の方策にも供給サイド・需要サイド両方の行動が含まれ、合わせてアジアの温室効果ガス削減量の37%に寄与する。需要サイドの行動には、最終消費部門におけるスマートなエネルギー管理システム、地域資源を活用した小規模分散型再生可能エネルギーシステムが含まれる。

「低排出な農業技術の普及」の方策はアジアの温室効果ガス削減量の10%に寄与し、水田の効率的な水管理、効率のよい施肥と残渣の管理、家畜排泄物からのメタン回収・利用(分散型再生可能エネルギーシステムのもう一つの例)といった農家による行動が含まれる。

「持続可能な森林・土地利用管理」は、アジアで1.6%の温室効果ガス削減にしか寄与しないが、これには、森林保護、植林、持続可能な泥炭地管理、森林火災のモニタリングと管理が含まれる。

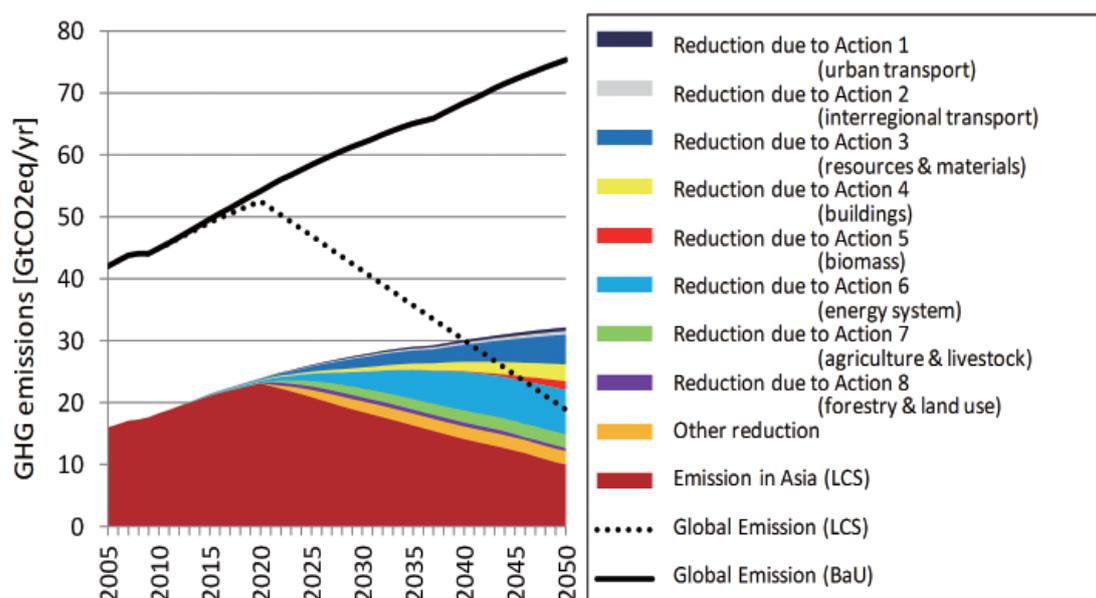


図17: アジア太平洋統合モデルチーム(2013)の分析による低炭素アジアに向けた10の方策の貢献

低炭素社会への移行とは、非効率で炭素集約的な技術を、効率的・低炭素で同等のサービスを提供する技術に切り替えながら、インフラを徐々に改善するプロセスのことである（DDPP、2015）。同時に需要サイドの行動変化を引き起こす必要もあり、現在このプロセスを始動させるために世界・国・地方など様々なレベルで低炭素政策が実施・提案されている。

4.1 UNFCCCの制度・プロセスおよび国際社会と各国のコミットメント

IPCC（2014）は、温室効果ガス排出量を効果的に軽減し、様々な知見と環境配慮型技術の発展・普及・移行を進めるには、国際協力が極めて重要だと強調している。気候変動には「地球規模の集団行動的問題」という特性がある。温室効果ガスの大半は長期にわたって蓄積し、混ざり合いながら世界中に広がっていくからである。さらに、個人、地域社会、企業、国などいずれかの主体による排出が他の主体に影響を及ぼす。また国によって、大気中温室効果ガス濃度への過去および将来的な寄与度や、直面する課題・状況、気候変動への緩和・適応能力が異なるため、初期に生じる公平・公正に関する問題の解決にも国際協力が必要である（図18）。

国際協力と同様に、国内の各部門・当局間の協力も不可欠である。「気候政策は他の社会的目標と相互に関連しているため、共便益をもたらすだけでなく、負の副次効果を引き起こすおそれもある」からである。具体的には、人の健康、食料安全保障、生物多様性、地域環境の質、エネルギーへのアクセス、生計手段、衡平で持続可能な開発などに関連した目標などで（IPCC WG III、2014）、気候政策とこのような社会的目標に関連した政策は互いに影響を及ぼし合う可能性がある。

国連気候変動枠組条約（UNFCCC）は、気候変動への対処に焦点を当てた、世界のほぼ全ての国が参加する国際条約で、1992年の地球サミットで交渉され1994年3月21日に発効した。「大気中の温室効果ガス濃度を、気候システムへの危険な人為的干渉を防ぐレベルに安定させる」ことが主な目標で、気候変動対策の進捗状況を評価し、様々な行動について議論し合意するために、1995年以降、毎年、締約国会議（COP）を開催している。

UNFCCCの重要な役割の一つは、各国の温室効果ガスのインベントリと削減量の算定プロセスを確立することで、多くの国が定期的に最新のインベントリを提出している。

UNFCCCではこれまでに、以下の重要かつ画期的な成果が得られている。(i) 京都議定書：1997年に採択され、2008年から2012年までの期間を対象に、先進国に対して法的拘束力のある温室効果ガス排出削減目標が設定された。(ii) コペンハーゲン合意（2009年）：（期待外れであったと言われているものの）京都議定書を継続し、世界の気温上昇を2℃未満に抑え、世界の温室効果ガス排出を削減することが必要との科学的な見解を認識し、（法的拘束力はないものの）先進国は2020年までの削減目標を、途上国は削減行動（NAMAs）を提出することとした。(iii) カンクン合意（2010年）：産業革命前と比した世界の気温上昇を2℃未満に抑える目標が正式に決定された iv) パリ協定（2015年）：政治上の見地から歴史的に広く歓迎され

るもので、世界の平均気温上昇を2℃未満に抑え、さらに1.5℃を目指すとしており、今世紀中に正味ゼロカーボン経済を達成するとしている。また、パリ協定は、「誓約と評価」を掲げ、途上国を含む195のすべての加盟国から、各国が自主的に決定する約束草案（INDC）の形で、2020年以降の温室効果ガスの削減についての自主的なコミットメントを要求している。INDCsには各国が定めた中期（通常2025年または2030年まで）の排出削減目標が記載され、それぞれUNFCCCに提出されている。各国は2018年に削減の状況を評価し、2020年以降5年おきに約束草案を見直す。先進国は温室効果ガス排出量に関する詳細な報告書を毎年UNFCCCに提出することになっているが、パリ協定は、殆どの途上国にも2年おきに温室効果ガス排出量のインベントリを報告するよう要請している。協定は温室効果ガス排出量の観測、報告、検証について透明性のあるシステムの構築を提案したが、詳細に関しては交渉段階であり、2016年に検討される。INDCのプロセスは国内の政策決定過程と密接にかかわっており、各国は低炭素社会に向けた共同行動を推進する世界的なフレームを踏まえ、国内の政策の優先順位や国内事情などを考慮して、温室効果ガス排出量の削減に取り組む。INDCは世界が低炭素で頑健な社会に向かうかどうかの指標となる。UNFCCCのほとんどの加盟国は既にINDCを提出している。NIES及びMHIR（2015）による緩和シナリオの分析では、INDCは低炭素社会を実現するには十分ではないが、非常に重要なステップであるとしている。

UNFCCCのもとでの各国の活動は、気候変動に関する国際協力の制度や取り決めの増加につながっている。気候変動に関する既存の、または提案されている国際協力体制は、その対象や集権化・連携の度合いが異なり、多国間協定から国内政策の調和、集権的ではないが連携のとれた国内政策、地域的・地域協調的な政策まで多岐にわたる（IPCC WG III、2014）。

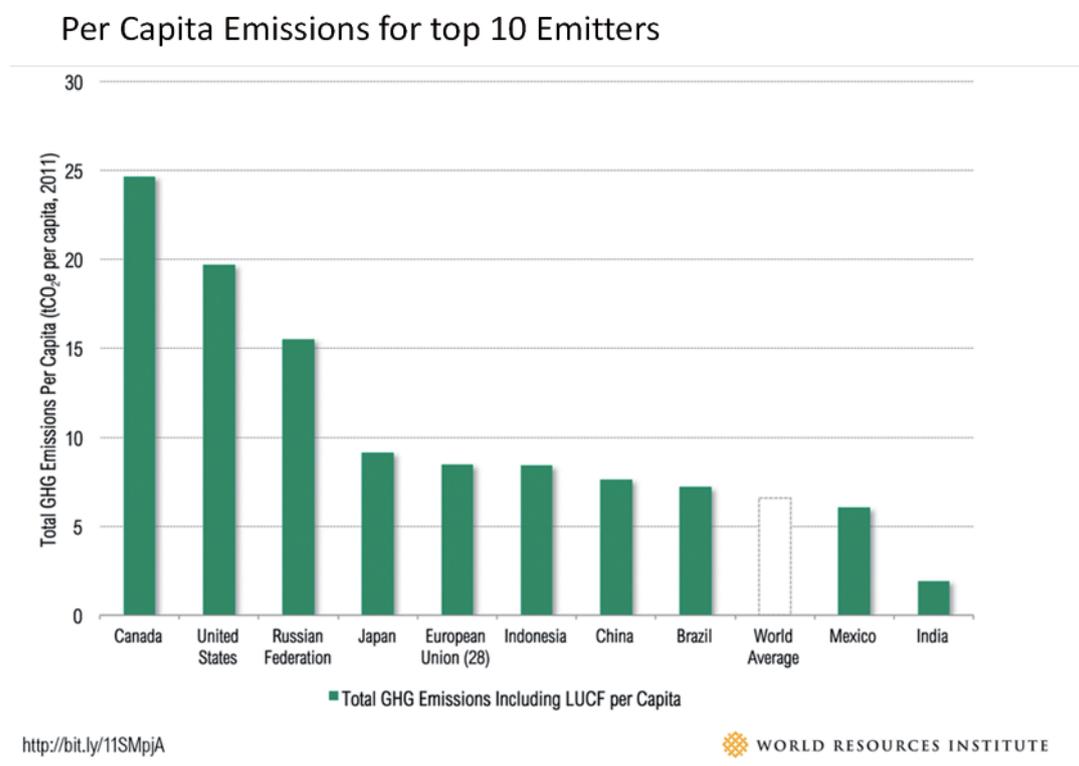


図 18： 2011年のトップ10の国ごとの一人当たりCO₂排出量（単位：トン）（出典：WRI、2014）

影響力と信頼性が高いもう一つの国際機関として、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)がある。IPCCは1988年に国連のもとに設立された科学機関で、気候変動に関連した科学的・技術的・社会経済的情報を収集・分析・統合し、UNFCCCを支援する報告書を作成している。IPCCは数千人に及ぶ世界中の科学者・研究者の活動から得られた知見を活用しており、その成果であるIPCC報告書の「政策決定者向け要約」は120カ国以上の政府代表によって承認されている。

パリ協定は、どの程度気候変動についての責任を強化する必要があるかを定めるため、IPCCに気温上昇を1.5℃以下に抑えるシナリオの分析を行い、2018年に報告するよう要請した(Tollefson及びWeiss、2015)。

4.2 税・取引・資金調達に関する世界・国レベルの取り組み

国際的な、また国レベルでの低炭素政策には、複数の国による公約と、排出権取引、CDM¹⁶、炭素税や資金的なインセンティブなどの制度の導入が含まれる。

低炭素投資のリスクを減らすための対策として既に実施されているものには、気候投資基金、炭素価格制度、固定価格買い取り制度、グリーンビル認証、カーボンオフセット市場、イギリスのグリーン投資銀行、および複数の官民連携事業がある(世界銀行、2011、GIBC、2010)。

温室効果ガスの排出量取引制度(キャップアンドトレードシステム)¹⁷は、多くの国や地域で採用されている。しかし、緩いまた不十分なキャップ(排出許可枠)のために、これらの短期的な環境効果は限定的なものであった。早期のプログラムは今のそれぞれの排出量に応じた(grandfathering)、無料での許可枠の設定であったが、今はオークション方式が広く適用されている。もし許可枠をオークションにかければ、その歳入は高い社会利益が見込まれる投資や、税や財政赤字を減らすために使用できる(IPCC、2014)。最近の特筆すべき展開は中国で排出権取引制度が発足したことで、既にこの取引は中国のGDPの3分の1、エネルギー消費量の5分の1をカバーしている(Wang、2013)。

幾つかの国では、技術や他の政策に加えて、特に温室効果ガス排出を減らすことを目的とした課税政策が、温室効果ガスの排出とGDPとの間のリンクを弱めることに貢献してきている。多くの国では、燃料税が、意図的に、また期せずして分野的な炭素税に類似した効果を発揮している。ある国においては、歳入が他の税金を減らすことに使われてきており、また、或いは低所得者層に移転されている。これは、政府の歳入を全体的に上げる緩和政策が、社会コストを低くしてきていることを示している(IPCC WG III、2014)。

幾つかの国では、化石燃料への補助金を減らすためにその国での税制度や予算システムを改革している。しかしながら、この選択肢を実施するには依然として大きな政治的障壁があることもまた事実である。とりわけ、収入の大きな部分をエネルギーサービスに使っている低所得グループへの補助金を減らすことは、途上国においては妥当な懸念である。こうした悪影響を避けるため、多くの政府は一時給付金(手当)や、貧困層向けの他のメカニズムを使っている。

16 クリーン開発メカニズム(CDM)は京都議定書により導入された。議定書のもとで、先進国が発展途上国において温室効果ガスの排出削減プロジェクトを実施し、その事業によって生じた排出量の削減分の一定量を認証排出削減量(CER)とし、自国の排出量の削減分の一部に充当することができる制度。

17 排出権取引、或いは、「キャップ・アンド・トレード」は、政府によって定められた、市場本位の措置であり、技術的なイノベーションと経済成長を刺激しつつ、温室効果ガスの削減に経済的誘引と柔軟性を与えるものである。政府もしくは取締機関がある期間、ある特定の量の削減の上限枠を排出者に設定し、排出者は排出が上限枠と同等になるようにするか、或いは、上限枠を超えて排出したい場合には、これを売却したいと考える第三者から超過分を購入しなければならない。

このような世界・国レベルの政策は、いずれもエネルギー市場やテクノロジー市場で目に見える変化をもたらしており、太陽光、洋上風力、バイオマス、水力発電などの成熟した再生可能エネルギー技術は世界中で急成長している。また、大半のクリーンエネルギー技術（特に太陽光と洋上風力）への投資コストが近年急速に減少している（IEA、2013）。

IPCC WG III (2014) は、今後20年間（2010～2029年）に電力供給部門による在来型化石燃料技術への年間投資額が約300億米ドル減少する一方で、低炭素電力供給への年間投資額は約1,470億米ドル増加すると推計している。ただしこの金額は、エネルギーシステムへの現在の世界の年間総投資額である約1兆2,000億米ドルと比べれば少ないと言える。さらに輸送・建築・産業部門での年間省エネ投資額が約3,360億米ドル増加すると推計されており、この中には既存設備の近代化費用も含まれる。温室効果ガス排出量削減と気候変動へのレジリエンス強化を目的とした現在の世界の資金フローは、約3,430～3,850億米ドルである。このうち発展途上国向け公的気候資金の総額は、2011年には年間350億米ドル、2012年には400億米ドルと推計され、発展途上国向けの国際的な民間気候資金（エクイティやローンとしての対外直接投資を含む）は年間約100～720億米ドルと推計されている。LCSの目標を考えると、このような資金の流れは不十分で、低炭素技術の普及に十分に寄与しているとは言えない。

LCS目標を達成するには、エネルギーの供給サイド・最終消費サイドの両方で低炭素技術が市場に深く浸透しなければならない。したがって、様々な部門・国における低炭素技術への投下資本の価値を生み出しリスクを管理する適切な長期的シグナルを発信するために、より積極的な政策が求められる。

例えば、高い資本コストが操業コストの低下によって相殺される場合や、規模の経済がまだ達成されていない開発の初期段階では、低炭素エネルギーへの投資を促す強力なインセンティブが必要である。しかし、これらの資本が自動的に集まるわけではなく、低炭素技術への民間投資家のリスクを軽減する政策が不可欠である。また、気候政策を行わない場合の投資額と比較すると、化石燃料から低炭素・省エネ技術への移行に必要な投資額は、大きくは増加しないことを強調することも重要である（DDPP、2015）。さらに甲斐沼ら（2013）も、LCS技術の研究開発・展開に必要な投資額が、現在利用可能な民間資本のごく一部であり、省エネや化石燃料コストの削減によって追加の初期費用がかなり相殺される可能性があることも指摘している。

MunozとBunn（2013）は、電力市場の脱炭素化における金融リスクを増大させかねない断続的な再生可能エネルギー技術への新たな投資を対象に、政策インセンティブの一環としてリスクプレミアムを適用することを提言している。また、開発と気候目標を明確に一致させるために、投資のインセンティブを高める革新的な金融メカニズムを新たに考案する必要がある。その一例として、HourcadeとShukla（2013）は、金融制度や海外援助のあり方を改革して気候危機と金融危機の両方に対処するために、気候ファイナンスメカニズムや炭素認証制度などの手段を活用することを提案している。しかし、そのような対策は、産業活動の移転による炭素リーケージ防止を目的とした炭素の社会的費用に関する国際合意形成という点で政治的課題をもたらすおそれがある（Reilly、2013）。

発展途上国では、低炭素技術の導入を阻む市場障壁が大きな懸念となっている。主な原因として、多くの発展途上国では低炭素技術の資本コストが高いため、高炭素経路へのロックイン（固定化）を引き起こす化石燃料インフラの強化が進められていることが挙げられる。DDPP（2015）は、高所得国がこれらの障壁を取り除くために重要な役割を果たすことを提案している。具体的には、発展途上国内での技術開発を支援

するだけでなく、低炭素技術開発への投資を加速させて資本コストを引き下げ、またこれらの技術の国際取引を拡大するという方法である。また、低炭素技術のコスト削減や様々な解決策の可能性を引き出す手段として、クリーンエネルギー研究開発への政府支出を大幅に増やすことも極めて効果的である。国の研究開発予算を増やす余地は大いにある。例えばアメリカは現在エネルギー関連の研究に40億ドルの予算を計上しているが、この金額は、小規模な炭素税を導入して得られる収入や、国防・医療分野の現在の研究開発予算から見ればほんの一部である(Nature、2013)。

研究開発に加えて高炭素社会へのロックインを防ぐインフラ投資を促進することも重要である(Skea、Hourcade及びLechtenbohmer、2013)。甲斐沼とPandey(2015)は、投資対象のインフラとして、電力、バイオ燃料、水素など多様なエネルギー供給網と、様々な需要・供給部門向けの省エネ・クリーン技術関連設備・部品の物流網も含めることを提案している。また上記以外にも、鉄道を利用した効率的な長距離旅客輸送システム、鉄道中心の効率的な複合コンテナ長距離貨物輸送、個人や企業における効率的な公共交通システムの利用を促す都市公共交通システムとEV充電インフラなどを挙げている。

低炭素技術市場の開拓を国際協力の下で進めると、全ての国がコストと障壁を削減しやすくなる。各国が独自に取り組むよりも、研究開発・製造・物流における規模の経済が早く実現し、知識とイノベーションの移転も早まるからである。甲斐沼及びPandey(2015)は、技術・管理面の実践ノウハウを円滑に移転するために、(i) 国家間、(ii) 研究機関間、(iii) 企業間、(iv) 研究機関と企業間で組織的なネットワークチャンネルを構築することを提案している。さらに蟹江、鈴木及び井口(2013)は、障壁を取り除いて技術開発を加速させるには、分散型・集中型両方の要素を持つ国際的な組織ネットワークが必要だと主張している。分散的ガバナンス構造を採用することで豊富な情報を有する柔軟な分散型システムが形成され、さらにハブによる連携によって有用な情報を素早く収集し、ネットワーク内の適切な拠点へ提供することが可能になるからである。そのような国際的なネットワークやパートナーシップは、政府間組織からの継続的な資金援助によって維持することができる。

4.3 その他の国レベル及びセクターレベルでの政策

2007年には45%でしかなかったのにも関わらず、2012年には世界の温室効果ガスの67%が国の法令や戦略の影響下に置かれることになった。最近では、複数の目的を統合し、コベネフィットを増やし、また、負の副次的効果を減らすようにデザインされた政策が増えている。ある分野に特有の政策は、経済全体の政策よりもより広範に使われるようになってきている。これは、行政的な、また政治的な障壁が経済全体の政策の策定とその実施をより難しくしていることと、ある分野特有の政策が分野別の障壁によりうまく適応し、補完的な政策のパッケージを包括する可能性を有していることによるものである(IPCC WG III、2014)。

規制アプローチや情報面での手段、例えば、エネルギー効率基準やラベリングプログラムは、広く使われており、また環境的に効果的であるとわかっている。

幾つかの国では新しい技術に向けたイノベーションと、その普及を促進していくため、直接的な技術支援政策が採られている。このような政策は、技術推進(テクノプッシュ)(例えば、公的資金による研究開発など)や需要牽引型(デマンド・プル)(例えば、政府の購買プログラムなど)を含んでおり、イノベーションや技術普及に関連する市場の失敗に対処しようとするものである(IPCC WG III、2014)。

4.3.1 規制インセンティブと目標を通じた再生可能エネルギーと他の低炭素エネルギー選択の推進

ドイツは、エネルギー政策誘導によって低炭素への移行を進めている優良事例であり、2050年までに総発電量の80%を再生可能エネルギーにし、究極的には、国の発電システムを完全に再生可能エネルギーに転換するとの取り組みを積極的に進めている。2011年に原子力発電とCCSを伴う化石燃料発電を選択肢から除外したため、脱炭素化を達成するための主な対策は再生可能エネルギーによる発電と省エネである (Lechtenbohrer 及び Luhmann、2013)。世界で最も野心的なLCS移行プロジェクトの「Energiewende(エネルギー変革)」は、全ての政党と国民の大半に支持されている (Schiermeier、2013)。

中国や日本など、再生可能エネルギーに関する国内の政策、インセンティブ、目標を強化する国が増えている (IEA、2013)。スウェーデン、オーストリア、ブラジル、中国ではバイオ燃料技術の開発・利用が大幅に進み、得られた利益が農村の雇用、持続可能性の確保、エネルギー安全保障に活用されている (Kopetz、2013)。

多くの国で太陽光発電市場が形成され始めている。これはほとんどが政府による政策誘導と他の規制努力によるものである。2014年、太陽光発電のトップ5の国は、ドイツ(38,200MW)、中国(28,199MW)、日本(23,300MW)、イタリア(18,460MW)、アメリカ(18,280MW)であった (IEA PVPS、2015)。加えて、太陽光発電市場がある国や地域には、英国、フランス、スペイン、ベルギー、オーストラリア、韓国、タイ、台湾、南アフリカ、スイス、オランダ、ドイツなどがある。世界での太陽光による発電量は、2014年末では177GWで、これは世界の電力需要の凡そ1%にあたる。また、23カ国で153GWを発電している。2014年には、中国と日本がそれぞれ、10.6GWと9.7GWという新規の太陽光発電容量を得て、世界をリードしている (IEA PVPS、2015)。これは、それぞれの国の政府が様々な資金的なインセンティブを通じて太陽光発電の促進に強い役割を發揮することと、また、市場の拡大がまだ見込まれるということを示している。ギリシャでは、国内政策によるインセンティブによってグリッド接続された太陽光発電システムの導入が一段と増加し、太陽光発電システムのシェアが150 kW以上拡大している。ギリシャは経済危機に見舞われながらも、1500 MWという2014年の太陽光発電能力目標を達成する見込みである (Tsilingiridis 及び Ikonopoulou、2013)。

中国、日本、ドイツや他の国の経験は、新しい再生可能エネルギー技術システムが、それが国内および国際的に競争力を得る、ある程度の大きさと経済に達するために、初期段階において政府の強い政策支援が重要であることを示している。すでに資金支援を得ているある技術において、幾つかの国での政策支援により、また、或いはマーケットが成長の兆しを見せることにより、コストが改善される。例えば、Trancik (2015) によれば、太陽光発電用の太陽光発電パネルの価格は、マーケットが成熟していくにつれ、2000年以降85%下がっている。風力からの電力コストは現在石炭からの電力とほぼ同程度になっており、また、エネルギーを貯める技術も改善されつつある。

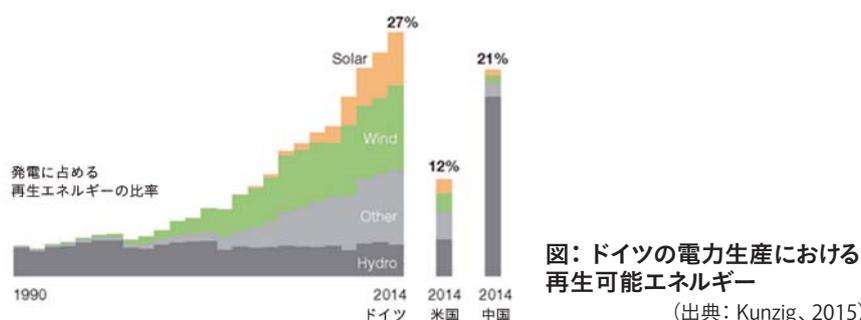
4.3.2 規制基準、インセンティブや目標を通じた需要サイドでの効率および技術選択の追求

政府の政策やインセンティブは例えば交通や工業、商業および住居用の建物、機器及び農業といった使用者側の効率を引き上げるために同様の役割を果たす。例えば、ドイツのEnergiewendeは、エネルギー供給の変更に加えて、需要サイドの複数の分野で省エネを進めるイニシアティブを含んでいる (囲み 3を参照のこと)。

図み 3: ドイツの「エネルギー変革 (Energiewende)」: LCSに向けた持続的なエネルギー政策のケース

世界第四位の経済大国であるドイツは、「エネルギー変革」を通じてエネルギーシステムの転換の途上にある。「エネルギー変革」とは数年前に開始されたエネルギー改革の名称である。2011年の福島での原子力発電所の事故の後、この活動はボトムアップで進み、ドイツ政府がすべての原子炉を2022年までに閉鎖すると宣言することにつながった。2015年までにドイツは17の原子炉のうち九つを閉鎖してきている。この他の要因として、ドイツの積極的な温室効果ガス削減目標があり、それによれば、1990年比で、2020年までに40%、2050年までに80%を減らすとしている。

ドイツの転換の第一フェーズは大変に希望の持てるものであった。2014年には、電力の27%は風力や太陽光といった再生可能エネルギー起源であった。これは、10年前に比較して3倍の数字であり、パーセンテージベースで現在アメリカが得ているものの2倍以上となる。これに加えて熱を発生させるためのバイオマスと太陽光エネルギーの利用が増加した。2015年7月25日には、ドイツの北部では風が強く(ドイツの風力タービンの多くが北部に配置されている)、一方でドイツの南部では好天に恵まれたが(ドイツの太陽光パネルの多くが南部に配置されている)、数時間でこれらの再生可能エネルギーがドイツ全体の電力の75%を生み出した。



ドイツで現在進められている低炭素社会への転換の興味深い特徴として、個々の市民や地方の市民団体がこのエネルギー変革を立ち上げるために政府に働きかけるという点、また、この変化に貢献するという点で重要な役割を果たしている点が挙げられる。これらの草の根の市民やグループからの再生可能エネルギー投資は全体の半分以上を占めるまでになっている。新しい規定では、市民がエネルギーをグリッドに売って利益を得ることができるとしている。現在、150万人が再生可能エネルギーの電気をグリッドに売却している。「エネルギー変革」が消費者の電気料金を引き上げるとしても、大きな公的サポートが受けられる。このサポートの一部はドイツに深く根ざした、環境に優しい文化によって説明できる。

「エネルギー変革」の始まりは、そもそも1990年に遡る。ここで、電気をグリッドに供給する再生可能エネルギー生産者の権利と設備側が彼らに対価を支払う義務を認識した最初の法律が定められた。次いで、1993年にハンブルグ市議会が再生可能エネルギーの生産者が利益を得られるように価格を保証するという義務を定めた条例を可決した。そしてその後2000年になって同じような形で国レベルの法律が定められた。15kwの太陽光プラントのための最初の地方投資家団体は1990年半ばにハンブルグで組織されたが、現在ドイツにこうした団体が数百あるといわれている。それらの幾つか、例えばドイツのヴィルドポルツリート村では、風車、太陽光パネルとバイオガスにより、彼らが消費する以上の電気を生み出している。

しかしながら、新しい再生可能エネルギー容量増加速度が下がっていること、またドイツの挑戦として、より多くの市民を巻き込むこと、化石燃料ベースの大規模電力設備を低炭素なものに転換していくこと、また、運輸と光熱(暖房)分野を転換させていくことが課題である。共益会社は再生可能エネルギーへの投資を始めている。例えば、ミュンヘンでは、大きな洋上風力発電に出資しているが、現在住居、地下鉄、トラムに供給するのに十分な再生可能エネルギーを有している。ドイツは2020年までに100万台の電気自動車を導入し、2050年までに建物を炭素中立にするとしている。

出典: Kunzig (2015)、Schiermeier (2013)、Lechtenböhmer 及び Luhmann (2013)

需要サイドでは、輸送部門で勇気づけられる傾向が見られている。近年、ハイブリッド車(HEV)と電気自動車(EV)の普及が急速に進み、ハイブリッド車の販売台数は2012年に100万台を超え、電気自動車の販売台数も10万台を上回っている。HEV市場を牽引しているのは日本と米国だが、インドなどの発展途上国でもHEVとEVに関する野心的な目標が設定されている(IEA、2013)。輸送燃料の脱炭素化を目的とした既存の国・州レベルの政策には、バイオ燃料のカテゴリーごとに目標最低使用量と温室効果ガス排出削減基準を定めたアメリカの再生可能燃料基準(RFS2)、2020年までにカリフォルニア州で販売される輸送燃料の炭素強度を10%削減することを義務付けたカリフォルニア州の低炭素燃料基準(LCFS)、LCFSと似た目標を定めている欧州委員会の燃料品質指令(FQD)、輸送燃料の再生可能成分量と炭素強度の削減という両方の目標を定めたプリティッシュコロンビア州のRenewable and Low Carbon Fuel Requirements Regulation [再生可能・低炭素燃料要件規制](RLCFRR)などがある(Yeh及びSperling、2013)。

他の需要部門のエネルギー効率はまだまだ改善されていないが、複数の国の政府が建物と電化製品の省エネ推進策を実施している。例を挙げると、EUのエネルギー効率指令(EED)、イギリスのグリーンディール、日本の革新的エネルギー・環境戦略、インドのエネルギー性能基準と特定の家電製品に対するラベリング義務、オーストラリアが実施している利用可能な最善の照明製品への段階的移行政策、2016年までに白熱灯を段階的に削減することを目標に46カ国が参加している「en-lighten」イニシアティブなどがある(IEA、2013)。エネルギー性能に関するドイツの建築基準・規制は、新築建築物のエネルギー消費量削減に成果を上げている(Schadeら、2013)。

中国も炭素強度とエネルギー強度に関する厳しい目標を設定しており、これまでのところ「目標責任制度」を通じて短期目標を達成している。同制度は、国家目標を地方自治体や企業にも割り当てることで、責任の所在を明確化している(Jin、倉持及び明日香、2013)。

4.4 地方レベルの取り組み

地方レベルでも素晴らしい政策が実施されており、一部の地域・地方自治体が、インフラ・制度・行動の低炭素化を目指し、当該地域・地方のステークホルダーの関与と意識向上を図る積極的な取り組みを進めている。例えば、マレーシア・イスカンダル地方の開発計画を担っているイスカンダル地域開発公社は、マレーシア工科大学(UTM)や日本のAIMチームの気候変動研究者と緊密に連携しながら、LCS目標の設定、LCS計画の策定、提言の実施を図ると共に、地域社会、学校、企業など現地のステークホルダーと交流しながら意識向上を進めている(Ho及び松岡、2012)(囲み4を参照のこと)。

アメリカでは、中西部の複数の地方自治体が農村地域での風力発電所建設に重要な役割を果たし、地元への経済的・環境的メリットに関する啓発活動によって地域社会の理解を深めている(Mulvaneyら、2013)。ドイツのハイデルベルク市やスウェーデンのベクショー市などの「エコシティ」でも、公共交通システムへの移行、再生可能エネルギーの拡大、廃棄物のリサイクル・再利用といった地方の政策によってCO₂排出量が大幅に削減されている(Joss、2010)。

東京都のキャップアンドトレード制度は東京の商業ビルにおけるエネルギー効率と、炭素強度実績の計測・報告とを組み合わせたプログラムで、複数の革新的諸手法により、実質的な削減につなげている。この制度は、商業ビルをして低炭素に向けた行動へと向かわせるという点で、地方自治体の取り組みのベンチマークとして世界的に注目されている(囲み5を参照のこと)。

図み 4： イスカンダル・マレーシアの低炭素社会に向けたロードマップ

イスカンダル・マレーシア LCS (低炭素社会) は、東南アジアで最も野心的な都市レベルでの脱炭素プロジェクトの一つである。これは、マレーシアの新興都市であるイスカンダル・マレーシアのためにデザインされたもので、マレーシア政府とイスカンダル地域開発公社 (IRDA) の積極的な支援を得ている。低炭素社会イニシアティブはイスカンダル・マレーシアの経済成長、社会福祉、持続可能な開発を確保しつつも、CO₂ 排出を 2020 年までに 40% 削減するという自主的なコミットメントに貢献することを目指したものである。このプロジェクトは同時に、JICA やその他の機関 (二国間の政策協力)、マレーシアと日本の研究者による国際的な研究協力 (研究協力)、研究者と中央政府・地方自治体の政策担当者との協力、また、IRDA のような地域に根ざしたステークホルダーの参加や、他の地方団体やコミュニティ (研究・政策・地域のステークホルダーとの協力) という点で、様々なレベルでの協力を示す優れた事例でもある。研究成果は LCS ブループリントの形に翻訳され、また、12 の方策、280 のプログラムと、実施に向けたロードマップが策定された。これらは低炭素で気候変動にレジリエントな、活力のある都市設計に向けた基準を提供するものである。

モデル及び分析の結果、LCS シナリオでは成り行きシナリオと比して 2025 年までに 58% の温室効果ガスの排出強度の削減が可能であり、また 40% の排出削減が可能であるとしている。対策の多くは技術に関するもので、例えばすべての分野におけるエネルギー効率のよい装置の導入、太陽光発電やバイオマスの利用、また建物のエネルギー効率の改善などが挙げられる。また、モーダルシフトやコンパクトシティといった都市計画や、教育や啓発事業を通じたコミュニティレベルでの行動変容なども含まれるとしている。

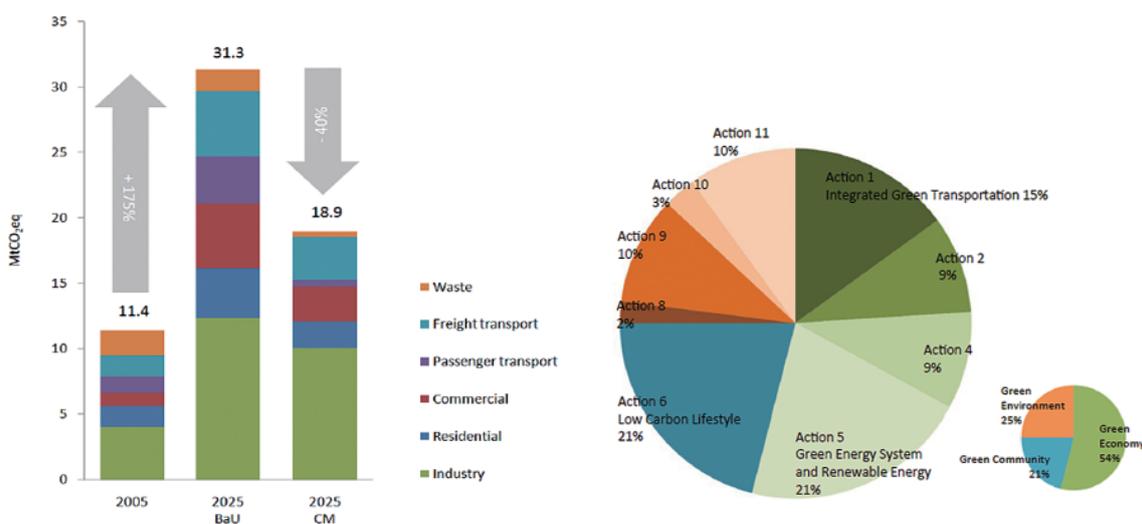


図: (左) イスカンダル・マレーシアの、2005年と2025年成り行きシナリオ、2025年低炭素シナリオでの分野別温室効果ガスの比較、(右) それぞれの行動の CO₂ 削減への貢献度

これらの対策は IRDA や地方自治体によって、また企業コミュニティ、NGO や NPO、利益団体や個人といったステークホルダーを巻き込んだコンセンサス醸成ワークショップなどを通じて実現可能な行動やプログラムに翻訳されている。12 の方策は三つのカテゴリー、すなわち、グリーン経済、グリーンコミュニティとグリーン環境に分類できる。CO₂ 削減に最も貢献する方策はグリーンエネルギーシステムと再生可能エネルギー (21%) と低炭素なライフスタイル (21%) であり、次いで、統合的なグリーン交通 (15%)、スマート都市成長 (10%)、持続可能な廃棄物管理 (10%)、グリーン産業 (9%) とグリーン建築 (9%) となっている。幾つかが方策、例えば低炭素都市ガバナンスやコミュニティの巻き込みは直接排出を削減するわけではないが、他の方策の一部としてプログラムの実施を促進する効果を有する。ブループリントは地方公共団体がエネルギーと温室効果ガスの排出インベントリを見積もり、実施し、プログラムの進捗を継続的に監視することを求めている。

出典: マレーシア工科大学低炭素アジア研究センター (2013)

世界大都市気候先導グループ(C40)のようなイニシアティブと、気候変動に関する世界市長・首長協議会(WMCCC)は、大都市が気候目標を現在の政策や長期計画に統合することを支援してきた。地球規模の都市のネットワークであるICLEIは気候を守る都市キャンペーンを続けてきており、例えば、1000以上の都市から5400万トンのCO₂が削減されたとしている(Agarwala, 2015)。

Damso、Kjaer及びChristensen(2016)は、デンマークの地方自治体の間で、野心的な気候行動計画が広く採択されているとしている。目標の種類と緩和行動は(おそらくは国レベルの計画枠組みと連結していないため)極めて多種多様であるにもかかわらず、全体的に目標設定が高くなっている。

クリーン・テクノロジーにおける大規模民間投資家のリスクを減らすことに加えて(4.2節を参照のこと)、分散型の再生可能エネルギーをベースとした経済活動をスタートしようとする地方の起業家のリスクを減らすことが有効である。起業家による低炭素活動、例えば分散型の再生可能エネルギー技術や、住宅、商業、工業、農業セクターといった需要サイドでのサービス提供に使える資金をつけていくことは、雇用、経済、気候等の複数の便益を生み出す可能性を持っている。

4.5 包括的政策の必要性

中村、林及び加藤(2013)は、不必要なエネルギー需要の「回避」、低炭素モードへの「移行」、効率性の「改善」から成る包括的な政策パッケージの重要性を強調している。これは第3章で紹介した低炭素エネルギーと社会経済システムの特徴からも支持される考察である。エネルギー供給サイドと需要サイドとの間での補完的な、また双方向に強化された取り組みを作り出すようにデザインされた政策を含むパッケージは、それぞれが独立してデザインされた個々の政策の集合体よりも、低炭素社会に向けて社会を動かしていくのにより効果的である。

緩和政策間の相互作用によって、相乗効果が生まれることがある。例えば炭素税は、再生可能エネルギー供給への補助金制度などの政策に追加的な環境効果をもたらす可能性がある(IPCC WG III 2014)。Huangら(2013)は個々の政策を比較した結果、炭素価格の設定と再生可能燃料基準(RFS)・低炭素燃料基準(LCFS)に関する政策を組み合わせると、輸送・農業部門において経済的利益の増加、エネルギー安全保障の向上、燃料節約、温室効果ガス排出量削減などの効果が得られることを実証した。また第4章3節で述べているように、市場ではイノベーションや技術の普及を達成できない場合、技術政策で対処することによって緩和策を補完することもできる。このような相乗的政策は、より少ないコストで緩和の効果を増大させる可能性がある。

緩和策によってはエネルギーサービス価格が上昇することがあり、サービスを受けていない人々に新たなエネルギーサービスを広く届ける社会的能力が損なわれるおそれがある。このような潜在的な負の副次効果は、補完的政策を導入することで回避できる(IPCC WG III, 2014)。また、これらの補完的政策は共便益ももたらす。例えば、発展途上国の農村世帯が新たなエネルギーサービスを利用できるようになれば、CO₂排出量の減少と共に、大気汚染物質の排出量削減や健康上の利益増大といった持続可能な開発目標を達成することができる。

政策の包括性には、部門間・ステークホルダー間の統合という重要な側面もある。統合的な政策立案プロセスでは、様々なステークホルダー間の対立の解消や、政策の効果的な組み合わせの設計、および国家・

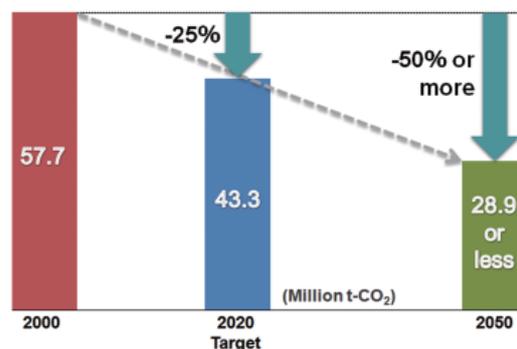
図み 5：東京都の都市からの温室効果ガス削減に向けた規制的取り組み

東京都は2000年と比較して、2020年に25%、2050年に50%若しくはそれ以上の温室効果ガス削減目標を定めている。2020年における25%削減は工業、産業、家庭、運輸分野の対策によって達成することを企図しており、これらの分野での需要サイドの対策が削減の主要な部分として見込まれている。

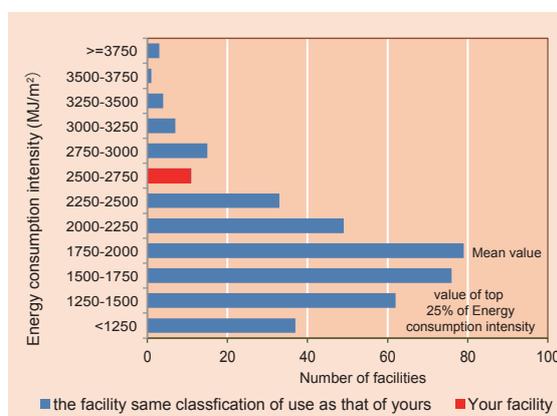
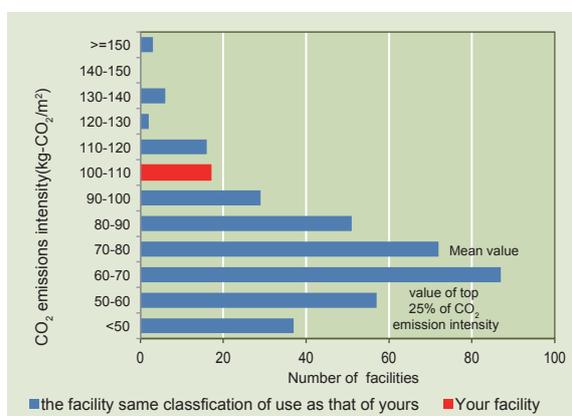
東京都 (TMG) はこれらの目標の達成に向けたすばらしい取り組みを開始している。新しい条例により、東京都は大規模事業者が排出報告、削減プログラムと削減に向けたキャップ・アンド・トレードシステムに参加することを義務付けた。(ここでいう「大規模」事業者とは一年当たり1500キロリットルかそれ以上の原油を消費する工場とオフィスビルをさす)。これら大規模事業者は約1400あり、東京の工業及び産業分野からの温室効果ガス排出の約40%を占めている。中規模事業者については、数にして約2万、温室効果ガス排出にして20%を占めているが、報告は義務付けたものの、削減は自主的に任されている。現在、東京の3万以上の施設がエネルギー使用、排出および削減手段を定期的に報告している。小規模事業者については、報告も削減も自主的に任されている。中規模及び小規模事業者については、排出が削減できた場合に、税制面での優遇や補助金などのインセンティブが得られることとしている。

東京都はこの制度を2002年に立ち上げた。2002年から2009年までは、大規模事業者はエネルギー使用、排出と削減手段の報告のみが義務付けられていたが、削減そのものは自主的に任されていた。企業や施設の管理者やエネルギーの専門家と協働しながらこのプログラムを行う過程で、東京都は削減に向けた最も簡便且つ実施しやすい、3年間或いはそれ以下の期間でのエネルギー節約で利益を得られる12の対策を特定した。排出削減にかかるキャップ・アンド・トレードプログラムの参加は大規模事業者向けに2010年以降義務化されている。東京都は自らの経験を生かし、60以上の特定の方策、例えば照明や空調の操作、空調機器、変電設備、水供給、排水設備、ポンプやファン、ボイラーやその他の機器などを含む包括的なリストを作成した。また、中規模および小規模事業者向けにも、普及啓発セミナーの実施やセクター別のパンフレットの作成、エネルギー調査やコンサルテーションなどを行うことで、これら事業者が削減に参加することを促進している。

今までのところ、東京都はまず工業および産業分野での削減を最優先としており、これは東京の排出の半分を占める。将来は、小規模および中規模の事業者への規制を強化することとしており、またこのプログラムを家庭および運輸部門へも拡大したいとしている。



図：東京都の温室効果ガス削減目標



図：東京都が事業者に提供した、当該事業者からのCO₂排出とエネルギー消費が全体の中でどの位置にあるかを示した比較表(例)

出典：東京都(2015)

国際レベルの合意による決定が求められる。これは制度面での政策課題である。なぜなら多くの国では、特に経済部門やエネルギーを含むインフラ部門において、政策立案、計画およびガバナンスに関する既存の制度的構造が細分化されているからである。このような非統合的で視野の狭い計画立案の問題は発展途上国でより顕著に見られ、異なる部門・下位部門の政策担当者がそれぞれ相反する目標のために働いていることが多い。このプロセスでは、効率性、エネルギー利用、環境、持続可能性のような社会全体・経済全体にとって最重要かつ共通の横断的目標よりも、特定の部門の投資や成長といったより狭い目標がしばしば優先される。例えばインドでは、電力、新・再生可能エネルギー、石炭、石油・ガス、原子力エネルギー、高速道路、鉄道、港湾、空港といった部門ごとに省庁や政策機関が設置され、統合的計画立案に携わる数少ない部門横断的機関よりも大きな政治的影響力を持っている。

このような細分化された組織構造・プロセスよりも、エネルギー効率、エネルギー利用、環境および気候変動など社会全体・経済全体の目標を掲げている統合的・部門横断的な政策立案組織の方が優先されるべきである(甲斐沼及び Pandey, 2015)。持続可能な発展のためのエネルギーシステム設計に対する統合的アプローチでは、エネルギー政策と、産業、建築、都市、輸送、食料、健康、環境、気候、安全保障などの部門の政策とを連携させて、互いに支え合う必要がある(GEA, 2012)。また、統合的で部門横断的な政策立案プロセスは、部門間の影響を評価し、また、より効果的な政策の組み合わせを考案する際にも有用である。

さらに統合的かつ包括的な政策立案プロセスは、高炭素オプションだけでなく低炭素オプションの評価においても、部門間または開発・環境の外部性を内部化させるために必要であることに留意しなければならない。Reilly (2013) が指摘するように、今世紀初めの10年間のヨーロッパでの再生可能エネルギー推進のやり方は総じて急ぎすぎだったと考えられているが、それは土地利用変化や食糧価格に「持続不可能な」影響が及んでいたからである。統合的で部門横断的な政策立案プロセスは、賢明な戦略と再生可能エネルギーミックスを促進すると共に、様々な社会的利益を生み出し、対立を最小限に抑える効果がある。

政策の包括性のさらにもう一つの側面は、プロセスの中に地域社会の懸念と同意が含まれていることである。化石燃料や原子力技術だけでなく、バイオマス、水力、太陽光、風力など再生可能エネルギー技術でも土地利用に圧力がかかるため、先進国・発展途上国を問わずプロジェクトが地域コミュニティからの反対にあうことがある。甲斐沼及び Pandey (2015) は、これまで様々な産業・エネルギープロジェクトが市民の抵抗を受けてきたが、その長年の経験から再生可能エネルギープロジェクトでの解決のヒントを得ることができると指摘している。費用便益分析結果を透明性のある形で公表するだけでなく、地域コミュニティの地域社会を重要なステークホルダーとみなし、LCSプロジェクトの承認や利益の共有などの意思決定プロセスに参加できるようにすれば、住民の支持を深めて、プロジェクトを実施する上で大いに役立つ。

さらに低炭素技術の展開計画と、地域社会・村・都市レベルで地元直接利益をもたらすプロジェクトを組み合わせれば、プロジェクトへの支持が高まり、対立を未然に防ぐことができる。GEA (2012) が指摘するように、様々な社会的利益を生み出すエネルギープロジェクトを設計する必要があり、そのような利益には、農村・貧困世帯(特に女性)における電力や環境に配慮した調理用燃料の利用、地域の環境条件改善、雇用環境の向上、新たなビジネス機会を活用した地元経済の強化、生産性向上、社会福祉の改善と貧困削減、エネルギー安全保障の向上などが含まれる。

05

需要サイドからのLCSの取り組みとしての行動とパラダイムの転換

IPCC (2014) は、開発を阻害せずにエネルギー需要を削減するには、行動の変化と最終用途効率を向上させることがカギとなり、2100年までに大気中CO₂換算濃度を450~500ppmに抑えるというシナリオ(LCSまたはLCSに近いシナリオ)において、それが重要な緩和戦略になると指摘している。甲斐沼ら(2013)は、原子力とCCSを利用しないシナリオを分析し、緩和目標を達成する上でエネルギーサービス需要の低減が大きな課題になることを明らかにした。

さらに、そのような行動変化によってエネルギー需要が減少すれば、エネルギー供給サイドの負担が軽減されてLCS達成の実現可能性や経済的妥当性が高まる可能性がある。LechtenböhrerとLuhmann(2013)がドイツの脱炭素化の検証によって実証したように、省エネ対策は低炭素電力の普及において重要かつ費用効果の高い戦略である。

しかし最近、行動変化やその他の需要サイドの変化がますます注目を集めているのは、低炭素社会を実現するにあたり非常に大きな障壁があることがわかってきたからである。これらの障壁は、不十分な政策のみならず、行動的、制度的、構造的な問題といった、より重要な問題を含んでいる。これらは低炭素のための手段が実行されることを阻んだり、普及を遅らせたりする。現在実行されている低炭素政策、技術、産業、また、これに向けた地域の行動は引き金となっているが、低炭素社会実現のためには、さらに多くのことをする必要があり、早急な対策が必要であることを裏打ちするものである。気候学者、政策決定者、環境グループの間で、早急な対策が必要との共通認識が高まってきている。逆に、迅速な対策を行うことにより、不可逆的な危険の高い気候変化の可能性をなくしたり、低減したりすることができる。

IEA(2013)の報告書は、エネルギーを節約し、CO₂排出量を削減する技術の多くが、導入が非常に遅く、IEA 2DSシナリオの2020年目標を実現する方向に世界は進んでいないとしている。エネルギー部門では依然として石炭火力が伸び続けている。特に、中国やインドのような開発中の大国において顕著である。CCSはIEAの2009年のロードマップに含まれる幾つかのシナリオで楽観的に導入されているが、費用が高いことと、政策や動機がないため、実地でのCCSの導入は非常に遅く、世界のどの発電所でも大規模CCSはまだ操業していない(Van Noorden、2013)。エネルギー効率については、大きな削減可能性はあるが、まだまだ十分に活用されていない。効率的な技術の導入が進んでいない原因としては、その性質、高価格、投資者と便益を受ける人が違うことなどがある(Gillingham及びKotchen、2013)。いくつかの場合、効率による利益は持続可能でない習慣によって相殺されている。例えば、30年間にわたる乗用車のエンジン効率の改善は、時には運転者より20倍も重い、より大きな車を求める消費者の志向で相殺される(Allwood、2016)。

グリーン気候基金は5年以上かけて8件のプロジェクトを承認したが、いまだ各国によって約束された基金を集める努力をしている。米国の最高裁判所はバラク・オバマ大統領の発電施設に関する法律を凍結した。英国では、CCS技術の開発支援を突如打ち切るという、2015年11月の政府の決定をどのように進めるかまだ議論中である。国連の別の部門では、国際民間航空機関(ICAO)は、弱すぎて効力の見込めない航空

機からの温室効果ガスの排出規定を提案した(Nature、2016)。遅すぎるプロセスや期待外れの似たような例はたくさんある。

それ故、まず主な障壁を記述し、次に問題の構造、制度、行動に必要な可能な変化について記述する。

5.1 LCSへの障壁

甲斐沼及びPandey(2015)は低炭素社会実現に必要な7つの項目とその障壁を検討した(図19)。これらの障壁は低炭素社会や持続可能な行動を推進するための適切な構造、制度、プロセス、機構、行動がないために生じる。「直接的」な障壁のいくつかは、短期に適切な手段を取ることで解決できるものもあるが、根底の「間接的」な障壁はより抜本的で長期的な変革を必要とする。

例えば、適切な財政手段がないという障壁は、適切な財政チャンネル、手段、動機を計画し実行することにより解決できる。そのいくつかは第4章2節で論じた。同様に、公共交通システム、電気自動車用の充電ネットワーク、低炭素エネルギーキャリアの供給チェーンや関連する施設などの低炭素インフラストラクチャーは政府による直接投資や民間部門の投資を誘発する適切な動機を与えることにより整備される。

しかし、間接的な障壁を解決するには、行動を変えていく必要があり、構造や制度を支配する社会・経済パラダイムを変えていく必要がある。また、パラダイム・構造・制度によっても行動が変わる。このような変化は低炭素社会への需要サイドからの取り組みにつきものの課題と考えられる。

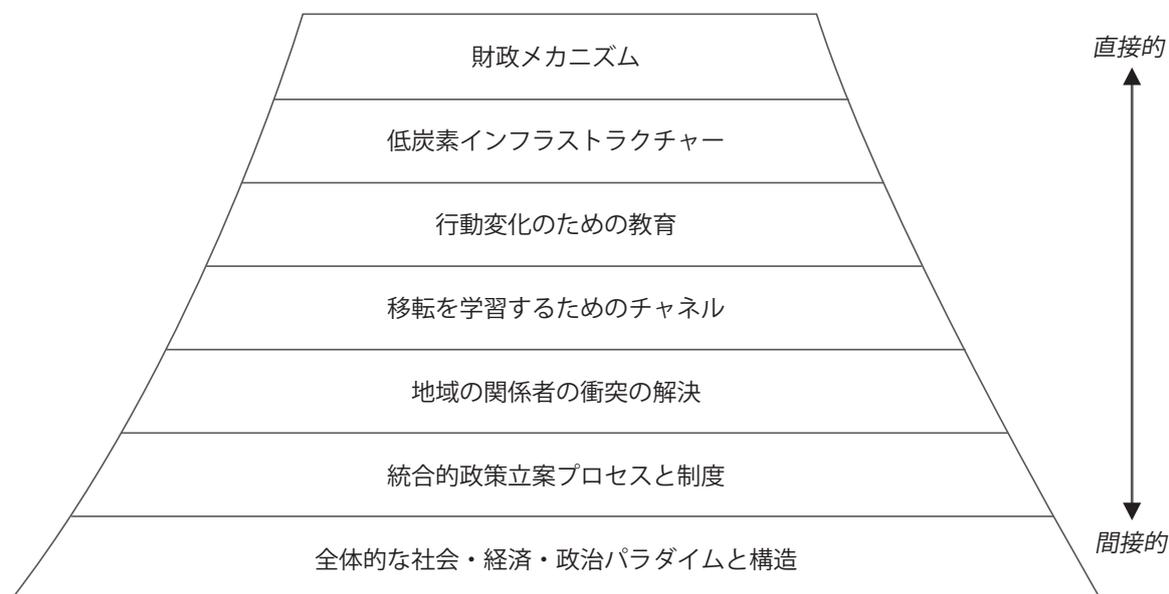


図19：構造・制度・プロセス・行動に必要な変化層 (出典：甲斐沼及びPandey、2015)

5.2 行動と社会経済的パラダイムの変化

LCSシナリオの大半で、とりわけ地域・都市スケールのシナリオで、最終消費分野での環境にやさしいライフスタイルへの行動変化の役割が強調されている。IPCC WG III (2014) はさらに、行動、ライフスタイルおよび文化がエネルギー利用とそれに起因する排出に大きな影響を与えており、技術的・構造的変化を補完する場合に特に顕著になると述べている。移動の需要、交通手段、家庭でのエネルギー消費、長寿命製品の選択、食生活の変化、食品廃棄物の削減などの消費パターンを変化させれば、排出を大幅に低下させることができる。

しかしながら、人々のエネルギー消費行為は日々の生活に根付いたもので、社会的規範や習慣、個人の選択によって決定されている(Shove, 2004)。例えば、ドイツにおいて、住宅暖房システム(RHS)の所有者と顧客を対象とした調査が実施され、ドイツでは暖房が炭素排出の少なからぬ部分を占めているが、化石燃料を使用することへの(地球規模また個人レベルでの)マイナスの結果を懸念している人ほど、再生可能エネルギーをベースとしたシステムの便益や機能についての知識を有しており、再生可能エネルギーを使った住宅暖房システムを選択することがわかった(Michelsen及びMadlener, 2016)。また、別の例を挙げれば、オーストラリアの家庭での太陽光温水システムについての実証研究において、Gillら(2015)は、技術の使用は文化的な規範、(技術)供給のシステム、家庭にあるモノや行動といったものに左右されるとしている。これらの報告は、例えば政府が機器の据え付けに関する補助金を出したとしても、購入前の適切なアドバイスや、据え付け時のサービスの質や、購入後のシステムの操作に関するアフターサービスがなければ、人々がこうしたシステムを受け入れ、これを適切に使い、その結果として満足を得ることが少ないことを示している。また、他のセクターや他の国を対象としたその他の多くの研究が、これらと同じような結果を報告している。

したがって、甲斐沼ら(2013)によると、求められる行動の変化を促すには、今のやり方と、それを低炭素なやり方に変えたときの利益に関する情報発信と教育を通じた意識向上や、個人の選択に影響を与えるインセンティブの提供、エネルギー消費製品の性能規制、公共交通機関への投資など、広範な社会経済的・政治的介入が必要になる。また、このような幅広い対策を策定するだけでなく、人々に技術やサービスの利用を促すことも大きな課題である。文化、ライフスタイル、価値観の変化は不可欠であり、効果的な戦略を採用し、国の社会文化、政治、発展その他様々な要素に組み込まなければならない(GEA, 2012)。

社会にあるべき価値観を好ましい方向に導くには、強力かつ持続的な政策によってトップダウンで意識向上を図る政府の役割と、草の根運動を通じてボトムアップで意識を高める非政府組織や市民運動の役割の両方が不可欠である。このようなあるべき価値観は、ライフスタイルや特定の製品に対する好みといった個人の選択を変えるだけでなく、技術投資に関する政府の判断など、主要機関の決定にも影響を及ぼす(甲斐沼及びPandey, 2015)。

個人のライフスタイルに影響を与える価値観の重要性を強調したColeら(2008)は、グリーンビルディング戦略を分析した結果、LCS目標によって快適さの新たな概念が生まれたと指摘し、「自動化・均一化・予測可能化」を重視する風潮から「流動的・統合的・参加型」の側面を考慮した幅広い概念へと変化していると結論づけている。後者の快適さの概念には、人々の間の新たな交流の形(フィードバック、対話)や、グリーンビルディング戦略の設計から実施、管理プロセスまで、様々なシステムや新しい技術の構築が含まれている。このように快適さの概念を広げるには、集中的かつ継続的な啓発活動が不可欠である。

地域市民や住民を巻き込んでいくことに加えて、需要サイドの取り組みを構想し、これを実施に移していくという観点から、当該地域の实情に沿った技術や実践例、政策を見極める能力を高めていくことが、先進国途上国どちらにとっても重要である。甲斐沼ら(2013)によると、現地に適した技術・実践の支援を目的とした発展途上国での能力構築活動は、LCS達成の中核的要素になる。

Skea、Lechtenbohmer及び明日香(2013)は、ドイツが2011年の福島原発事故後、直ちに「原発を10年以内に段階的に廃止する」と決断できたのは、ドイツ政府による強力かつ持続的な再生可能エネルギー普及策と、非政府組織が率いる反原発運動が上手く結びついたからだを指摘している。これは、トップダウンとボトムアップの取り組みによって意識向上が図られた結果、社会の価値観によって決断が下された良い例である。

最後に、我々は、低炭素社会に向けた変革が、とりわけきわめて政治的なプロセスであることを認識すべきである。Dessai、Afionis及びAlstine(2013)が指摘しているように、科学的な研究は重要であるが、本質的に政治的なプロセスに置き換えられるものではない。ゆえに、長期には、社会の基本的な経済および政治的構造を、既存の消費型、成長指向型のパラダイムから、持続可能な開発や、より多くの人が経済の果実を享受できるような目標によって導かれるものへと変えていかねばならない。

Griggsら(2013)は、地球システムの機能が安定していることがグローバル社会の繁栄の前提条件であるとしている。地球のシステムは人類が地球を変えていることにより深刻な影響を受けている。彼らは、持続可能な開発を定義するにあたり、人類と地球の安全を包含していくことを示唆している。彼らは新しい社会経済的パラダイムを提唱しており、そこでは貧困撲滅と飢餓の減少、健康と福祉の増進、持続可能な生産と消費のパターンの確立こそが人類社会を進歩させていく大きな要因であるとしている。ただ、このどれも、経済的な場の変更なしには実現不可能である(Biermannら、2012)。経済的なパラダイムにおいて必要とされる変化は、本質的かつ構造的なものである。

価値や構造の変化は必須の要件であり、低炭素シナリオによって求められる、抜本的なエネルギー需要の削減と使用者側での効率改善につながるものである。例えば、低炭素社会の前提条件である「快適さ」の概念を広めていくことは、Coleら(2008)によれば、建物の住民が生理学的に快適な条件の受動者にとどまらず、双方向かつ相互作用的な快適さを提供する行動的な参加者になっていくことを意味するものである。

我々は「成功」の定義を変えることで、「価値システム」を変えていくべきである。Allwood(2016)は、今日的な「成功」は、国内総生産(GDP)にどれだけ貢献したか、どれだけ生産的か、迅速であるか、給料が高いか、といった物差しで計られがちであるけれども、我々のより深層の価値システムは品質や評判、評価、歴史や人間関係などの全体的な評価を参照していると指摘している。Allwoodは、これらの価値を気候交渉の議論に広げていくことを提案し、また、その中で最も早く着手すべきものとして、エネルギー使用の習慣に切り込むべきであるとしている。このような価値システムや習慣の変化は社会の経済文化の土台におけるパラダイムシフトをもたらさう。

人類が断固として、かつできるだけ早く、経済発展と持続可能な開発と共に低炭素社会への変革を起こしていかなければならないことは広く合意されている。これには温室効果ガスの抜本的な削減が不可欠であり、先進国と途上国の双方において技術とエネルギーシステムの改善、効率向上、全面的な変化を迫っていく必要がある(図20)。また、生産と消費のパターンや、インフラや、社会制度や、国際的・分野横断的な協働や、行動やライフスタイルにおいて抜本的な変化が求められている。

一方で、第4章で述べたように、新しい技術、国際政策、国内政策、企業やNGO、地域に根ざしたステークホルダーなどのイニシアティブといった前向きな変化が現れてきている。他方でこうした取り組みは要求されているレベルに達しているとはいえ、更なる取り組みが必要である。

この厳しい現実を裏打ちするように、Nature (2016) は、政府がこれまでのところ行ってきた行動は温暖化を2℃未満とするために必要とされる行動にははるかに不十分で、パリ協定にて言及のあった1.5℃などにはとても及ばないと指摘している。また、世界は早急に変わらなければならないということは明らかであるが、一方で、パリ協定が、エネルギー需要に鋭いメスをいれ、且つ化石燃料をゼロカーボンの選択肢へと

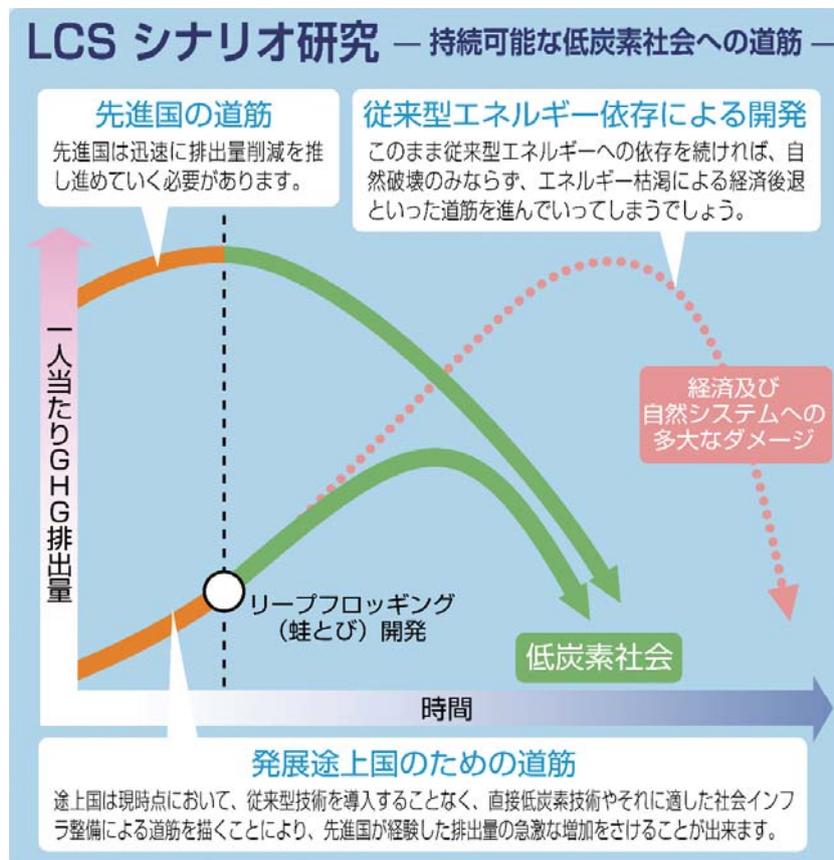


図20：持続的低炭素社会へのロードマップ（出典：LCS-RNet、2010）

変えていくよう、抜本的で迅速な具体的な行動を提案していくのではなく、例えば技術的・経済的な実現可能性や、土地利用や他のセクターへの予期せぬ影響という点がまだ検証されていないにもかかわらず、CCS付きバイオマス発電 (Bioenergy with CCS: BECCS) などといった革新的な大規模技術に過度に期待を持ちすぎているという指摘もある (Anderson、2015)。また、国立環境研究所 (NIES) とみずほ情報総研 (MHIR) (2015) によれば、INDCと2°C目標の世界規模の分析にもかかわらず、INDCの実施が2030年までの温室効果ガス排出において削減にむけた意味のあるステップであったとしても、それだけでは更なる温室効果ガス減少には結びつかない。2°C目標を達成するにはINDCを見直す必要があり、また、追加的な長期的な対策が実施されるべきだとしている。

故に、低炭素社会への変革はより多くの、また早期の取り組みが不可欠であり、こうした取り組みが確実に形作られ、実施に移されていくことが必要である。UNFCCCの事務局長は、パリ協定の締結に際し各国政府に宛てた手紙の中で、世界は今や「緊急な実施」のフェーズに移行したと述べた。国連の事務総長も「かつて考えることができなかつたことが、今や止めることが出来ないことになった」と同様の趣旨を述べている。

換言すれば、今や行動のときである。下記に挙げる方向へと、早急に舵を切っていく必要がある。

- **UNFCCCのもとでの革新的な国際合意とモニタリングメカニズム:** パリ協定のもとでのINDCや各国によるコミットメントは確かに前向きなステップであると評価できるが、報告やモニタリングの詳細な枠組みが早急に交渉されるべきである (Nature、2016)。国がその誓約を守っているかどうかを検証するために、確実かつ透明性のあるデータを集めるプロセスが構築されるべきである。このシステムをうまく機能させるには、Tollefson (2016a) によれば、世界中の炭素アカウンタントのネットワークを作るための能力構築を行うことが重要だとしている。加えて、国が抜本的な排出削減目標に取り組み、且つLCSの期待に沿うようなより野心的な政策を実施できるよう、交渉のペースを速めることが不可欠であるとしている。さらに、Covington、Thornton 及びHepburn (2016) は、各国がパリ協定での誓約をそれぞれの国での法制度に含めるべきとしている。さもなければ、それらは依然として法的に拘束力のないものであり続けになってしまう。
- **低炭素技術研究開発、イノベーション、起業家、製造、流通・販売、マーケティングへの投資を一貫する強い政策支援、法的枠組みと資金インセンティブ:** ゼロカーボン経済の達成には、低炭素システムや技術という点においてイノベーションや投資や起業家を動かす政策が必要である (Stern、2016)。低炭素技術研究開発、起業家、製造に向けた政府の直接的なサポートと、民間セクターによる市場と販路の開発とは、画期的イノベーションと規模の経済を達成するために、早急にまとめられる必要がある。低炭素システムにおける投資は強いインセンティブによって促進されるべきで、その一方、高炭素システムにおける投資には投資を抑制するメカニズムや法的に問題となるようにする必要があり、投資家は、投資ポートフォリオの経済的なアウトプットが将来の温暖化によってダメージを受けるような場合に備えて気候リスクによるストックの価値の減少について教育されるべきである。また、新しい法律が作られるべきであるが、法曹界においてもこれについて教育がなされる必要がある。(Covington、Thornton 及びHepburn、2016)。
- **協力の制度的なチャンネルの整備と、低炭素技術システムの研究開発や製造についての知識の迅速な移転:** 低炭素技術システムの広範かつ迅速な普及を可能にするために、高所得国からの強い資金的かつ政治的な支援に裏打ちされた国際的なチャンネルが、協力(競争ではなく)や、ノウハウや資本の迅

速な移転を進めていくために設立されるべきである。

- **低炭素インフラの設立とスケールアップ：**低炭素インフラ、例えば(長距離及び都市内の移動のための)効率的な公共交通システムや、電気自動車の充電ネットワークの整備、他の低炭素エネルギーキャリアの供給、低炭素技術のための機器の購入・供給チェーン、スマートグリッドシステム、リサイクルや持続可能な廃棄物管理のためのシステムなどが早急に確立されるべきである。そうすれば、多くの人々がこのようなエネルギーや技術やシステムに低い限界コストでアクセスできるようになる。
- **全体を見渡しての決定を可能とする統合的な制度構築と政策立案プロセスの確立：**今までセクターレベルの制度において見落とされてきた統合的なガバナンスの構造、政策立案の制度やプロセスが、複数のステークホルダー間の対立を解決し、トレードオフや決定の総合的な評価を行い、また、社会的・環境的なコストを内在化する形でスムーズに運営されるべきである。
- **首長や地域のリーダー間の、地域スケールや都市レベルでの脱炭素化を進めていくネットワークの形成：**都市は、地表面のわずか3%を占めているに過ぎないが、他方で地球の全人口の半分以上が居住しており、また、世界の70%のエネルギー需要を占めている(Agarwala, 2015)。世界大都市気候先導グループ(C40)や気候変動に関する世界市長・首長協議会(WMCCC)やイクレイ(ICLEI)といったイニシアティブは都市のリーダーや市民社会組織を巻き込んで、都市が迅速に行動に取り掛かり、具体的な成果をあげていくことを支援するネットワークである。Damso、Kjaer及びChristensen(2016)が示唆しているように、気候行動計画は地方自治体によってデザインされ実施され、地方自治体の職員のネットワークの中で水平的に調整され、統合的な国の低炭素計画枠組みと垂直的に調整され、他の社会的な価値(例えば雇用の創出など)と統合されることで、大きな削減ポテンシャルと成果を生み出し得る。
- **エンドユーザー(使用者)への、低炭素機器やシステムの据え付け及びその前後の全面サポートの実施：**複数の実証研究、例えば、Gillら(2015)によれば、政府の助成による低炭素技術システムの購買や設置にかかる政策は、時にこれらを十分に使いこなせるまでには至っていない。障壁の一つに、設置前の助言がないこと、それを導入するにあたってのメリットについての認識がないこと、新しいシステムの機能や操作についての十分な説明がないこと、既存のシステムのネガティブインパクトを踏まえた上での、新しいシステムを入れた場合のメリットの認識が十分でないことなどがあげられる。また、別の障壁としては、据え付け時のサービスの質が十分でないこと、操作に関する設置後のサポートが十分でないこと、エンドユーザー(使用者)の現在の生活環境や業務、メンテナンスや更新といった統合的な認識が十分でないことなどがあげられる。新しい低炭素技術システムの市場がこうしたサービスを全面的に享受できるレベルにまで成熟していない場合、政府機関は他の機関とも協力しながらこうしたサービスが享受されるように支援をしていく必要がある。
- **企業がより持続可能性を志向するような変革：**持続可能性への志向は価値連鎖(バリューチェーン)の各段階、すなわち原材料やサービスの選択から始まり、輸送を経て、製造段階における雇用管理や環境経営など、すべての局面に浸透しなければならない。これはまた、梱包や発送、顧客による製品やサービスの使用、製品の廃棄や再利用、リサイクルにまで広げられるべきである。すべての新しい投資、研究開発が、持続可能性という査定を経るようすべきである。真に持続可能な企業は温室効果ガスの削減、グリーンエネルギー、非再生可能資源の使用の制限などを採用していくべきである。こうした企業はまた、生物的に分解可能でない製品の販売を中止すべきであるし、その代替となる製品を開発してい

くべきである。また、こうした企業はすべての生産現場において同様の環境・社会基準を遵守すべきである(Leisinger, 2015)。国連事務総長はパリサミットの総括において、投資家や企業のリーダーは市場を低炭素パスに振り向けていく重大な責任があるとして、「市場は今や、人類の英知を総動員して、低排出でレジリエントな発展を生み出す投資をスケールアップしていくべきとの明快なシグナルを得た」と述べている。

- **行動変化に向けた教育とインセンティブ:** 低炭素な生活、すなわち個人やコミュニティ、組織や国との協力、3R(リデュース、リユース、リサイクル)、徒歩や自転車などで移動できるような低炭素市町村のデザイン、食事の変化、自然との調和、資源集約的、且つ大量消費文化に染まらない、個々人の関係や幸福度の追及、GDPだけでなく貧困・健康・環境目標の進展を含めた包括的な人間開発指標の強調といった点が、学校教育の中や、また、社会の中の文化的、経済的、また政治的な様々なプラットフォームの中でより取り上げられるべきである。国レベルでの政策、都市レベルでの政策、様々な産業における企業のイニシアティブ、エネルギー供給システム、エンドユースシステム、消費行動、コミュニティのイニシアティブといった様々な形で低炭素社会や持続可能な開発の優良事例を広く示していくことは、気づきを広めていくことにつながっていく。ドイツの「エネルギー変革」や、東京都のエネルギー・排出モニタリングと建物の規制、イスカンダル・マレーシアの低炭素社会ロードマップや、京都市の低炭素社会ロードマップなどが好事例として挙げられる。
- **真のコストと便益を見積もるための学際的な気候モデルと研究:** 様々な分野の研究者は、気候変動への挑戦や、低炭素社会の実現に向けて、公共、民間、非営利セクターの意思決定者を助けるべく協働していかなければならない。地球温暖化対策をとらないことに起因する悪影響や低炭素成長の社会経済的な便益が、きちんと見積もられる必要がある。現在のところ、壊滅的な災害、ティッピングポイント(温室効果ガスの量がある一定の閾値を超え、爆発的に温暖化が進んで後戻りできない状態に陥ること)、大規模な難民といった不十分な行動、或いは遅れた行動の潜在的な結果は過小評価されているか、若しくは十分に分析されているわけではない(Stern, 2016)。加えて、局地的に地上で生じる極端な気候の変化は、全地球の平均から想定できる変化よりもはるかに大きなものであるが、十分に知られていない。温室効果ガス排出を地域的、局地的に数値目標に翻訳することは、抜本的かつ早期の行動を喚起する、より強力な方法となる可能性がある(Seneviratneら、2016)。同時に、単に気候リスクを避けるだけの低炭素イノベーションの正のフィードバック、例えば、より広い経済への知識スピルオーバーや、新しいインフラのネットワークや、規模の経済、制度的かつ行動的な変化の導入なども、過小評価されているきらいがある(Stern, 2016)。分野横断的な気候研究のもとで、自然科学と工学をつなげ、これに経済学や他の社会科学を加えていくことが、こうしたコストと便益を正しく評価することに貢献し、かつ、温室効果ガス排出削減に向けた迅速かつ望ましいコミュニケーションを可能にする。

参考文献

- Agarwala, M. (2015) Climate policy: Push to decarbonize cities after Paris talks. *Nature*, 528, 193.
- Allwood, J. (2016) Energy: Technology alone won't save climate. *Nature*, 530, 281.
- Anderson, K. (2015) Talks in the city of light generate more heat. *Nature*, 528, 437.
- Asia-Pacific Integrated Modeling Team (2007) *Aligning Climate Change and Sustainability: Scenarios, Modeling and Policy Analysis*. CGER, CGER-I072-2007.
- Biermann, F., Abbott, K., Andresen, S., Bäckstrand, K., Bernstein, S., Betsill, M.M., Bulkeley, H., Cashore, B., Clapp, J., Folke, C., Gupta, A., Gupta, J., Haas, P.M., Jordan, A., Kanie, N., Kluvankova-Oravska, T., Lebel, L., Liverman, D., Meadowcroft, J., Mitchell, R.B., Newell, P., Oberthür, S. dr., Olsson, L., Pattberg, P.H., Sanchez-Rodriguez, R., Schroeder, H., Underdal, A., Carmago Vieira, S., Vogel, C., Young, O.R., Brock, A., and Zondervan, R. (2012) Navigating the anthropocene: improving earth system governance. *Science*, 335 (6074), 1306–1307.
- Brundtland Commission (1987) *Report of the world commission on environment and development: Our common future*. Oxford University Press.
- Cole, R.J., Robinson, J., Brown, Z., and O'Shea, M. (2008) Recontextualizing the notion of comfort. *Building Research and Information*, 36 (4), 323–336.
- Covington, H., Thornton, J., and Hepburn, B. (2016) Global warming: Shareholders must vote for climate-change mitigation. *Nature*, 530, 156.
- Csatho, B. M. (2015) Climate science: A history of Greenland's ice loss. *Nature*, 528, 341-343.
- Damso, T., Kjaer, T., and Christensen, T.B. (2016) Local climate action plans in climate change mitigation – examining the case of Denmark. *Energy Policy*, 89, 74-83.
- DDPP (2015) *Pathways to deep decarbonization 2015 report - executive summary*. Deep Decarbonization Pathways Project. SDSN - IDDRI.
- Dessai, S., Afonias, S., and Alstine, J.V. (2013) Science alone cannot shape sustainability (Correspondence). *Nature*, 493, 26.
- ETP (2012) *Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a Clean Energy System*, OECD/International Energy Agency, Paris, France.
- Fujimori, S., Masui, T., and Matsuoka, Y. (2013) Global low-carbon society scenario analysis based on two representative socioeconomic scenarios. *Global Environmental Research*, 17 (1), 79–87.
- GEA (2012) *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- GIBC (2010) *Unlocking Investment to Deliver Britain's Low Carbon Future*. Green Investment Bank Commission, London.
- Gill, N., Osman, P., Head, L., Voyer, M., Harada, T., Waitt, G., and Gibson, C. (2015) Looking beyond installation: Why households struggle to make the most of solar hot water systems. *Energy Policy*, 87, 83-94.
- Gillingham, K. and Kotchen, M.J. (2013) The rebound effect is overplayed (Comment). *Nature*, 493, 476.
- Gomi, K., Deshpande, A., and Kapshe, M. (2013) Aligning low carbon society scenario with city development goals in Bhopal, India. *Global Environmental Research*, 17 (1), 129–138.
- Gomi, K., Ochi, Y., and Matsuoka, Y. (2011) A systematic quantitative backcasting on low-carbon society policy in case of Kyoto city. *Technological Forecasting and Social Change*, 78 (5), 852–871.
- Gomi, K., Shimada, K., and Matsuoka, Y. (2010) A low-carbon scenario creation method for a local-scale economy and its application in Kyoto city. *Energy Policy*, 38 (9), 4783–4796.
- Griggs, D., Mark, S.-S., Owen, G., Rockstrom, J., Ohman, M.C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N., and Noble, I. (2013) Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495, 305–307.
- Guivarch C. and Hallegatte, S. (2011) Existing infrastructure and the 2°C target. *Climatic Change*. (DOI: 10.1007/s10584-011-0268-5).
- Hashimoto, S. and Moriguchi, Y. (2013) Resource management for carbon management: A literature review. *Global Environmental Research*, 17(1), 39-46.
- Ho, C.S. and Matsuoka, Y. (eds) (2012) *Low Carbon Society Blueprint for Iskandar Malaysia 2025 - Summary for Policymakers*, Low Carbon Asia Research Center.
- Hourcade, J.-C. and Shukla, P.R. (2013) Triggering the low-carbon transition in the aftermath of the global financial crisis. *Climate Policy*, 13 (S01), S22–S35.
- Huang, H., Khanna, M., Onal, H., and Chen, X. (2013) Stacking low carbon policies on the renewable fuels standard: Economic and greenhouse gas implications. *Energy Policy*, 56, 5–15. IEA (2011). *World Energy Outlook 2011*, International Energy Agency, Paris.

- IEA (2013) Tracking Clean Energy Progress 2013, International Energy Agency, Paris, France.
- IEA PVPS (2015) Snapshot of Global PV 1992–2014. Photovoltaic Power Systems Programme. International Energy Agency.
- Ilyina, T. (2016) Climate science: Hidden trends in the ocean carbon sink. *Nature*, 530, 426–427.
- IPCC WG I (2007) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC WG I (2013) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC WG II (2014) Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1–32.
- IPCC WG III (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jaccard, M. and Rivers, N. (2007) Heterogeneous capital stocks and the optimal timing for CO₂ abatement. *Resource and Energy Economics*, 9 (a) 1–16.
- Jiang, K., Zhuang, X., Miao, R., and He, C. (2013) China's role in attaining the global 2°C target. *Climate Policy*, 13 (S01), S55–S69.
- Jin, Z., Kuramochi, T., and Asuka, J. (2013) Energy and CO₂ intensity reduction policies in China: Targets and implementation. *Global Environmental Research*, 17 (1), 19–28.
- Joss, S. (2010) Eco-cities: A global survey 2009. *The Sustainable City VI: Urban Regeneration and Sustainability* (eds. C.A. Brebbia, S. Hernandez, E. Tiazzzi), 239–250. WIT Press Southampton, UK.
- Kainuma, M., Miwa, K., Ehara, T., Akashi, O., and Asayama, Y. (2013) A low-carbon society: Global visions, pathways, and challenges. *Climate Policy*, 13 (S01), S5–S21.
- Kainuma, M. and Pandey, R. (2015) Energy and socioeconomic systems to realize low carbon society (LCS). Chapter 31 of *Handbook of Clean Energy Systems* (Ed. Yan, J.). John Wiley & Sons.
- Kanie, N., Suzuki, M., and Iguchi, M. (2013) Fragmentation of international low-carbon technology governance: An assessment in terms of barriers to technology development. *Global Environmental Research*, 17 (1), 61–80.
- Kopetz, H. (2013) Build a biomass energy market. *Nature*, 494, 31.
- Kunzig, R. (2015) Germany could be a model for how we'll get power in the future. *National Geographic*, October 15, 2015.
- La Rovere, E.L., Dubeux, C.B., Pereira, A.O., Jr., and Wills, W. (2013) Brazil beyond 2020: From deforestation to the energy challenge. *Climate Policy*, 13 (S01), S70–S86.
- Lechtenbohrer, S. and Luhmann, H.-J. (2013) Decarbonization and regulation of Germany's electricity system after Fukushima. *Climate Policy*, 13 (S01), S146–S154.
- Lee, D.K., Park, C., Matsuoka, Y., Gomi, K., and Kainuma, M. (2012) Low carbon development towards 2030 in Gyeonggi Province, Seoul National University, Korea.
- Leisinger, K. (2015) Business needs to embrace sustainability targets. *Nature*, 528, 165.
- Limmeechokchai, B. (2010) Thailand's Low-Carbon Society Vision 2030. Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University.
- Low-Carbon Asia Research Project (2013) *Realizing Low-Carbon Asia – Contribution of 10 Actions*, National Institute for Environmental Studies (NIES). http://2050.nies.go.jp/file/ten_actions_2013.pdf
- LCS-RNet (2010) *Introduction to Low Carbon Societies – The Challenges of the International Research Network for Low Carbon Societies*. LCS-RNet Secretariat, Japan.
- Michelsen, C.C. and Madlener, R. (2016) Switching from fossil fuel to renewables in residential heating systems: An empirical study of homeowners' decisions in Germany. *Energy Policy*, 89, 95–105.
- Mulvaney, K.K., Woodson, P., and Prokopy, L.S. (2013) A tale of three counties: Understanding wind development in the rural Midwestern United States. *Energy Policy*, 56, 322–330.

- Munoz, J.I. and Bunn, D.W. (2013) Investment risk and return under renewable decarbonization of a power market. *Climate Policy*, 13 (S01), S87–S105.
- Nakamura, K., Hayashi, Y., and Kato, H. (2013) Macroscopic design of measure to realize low-carbon land-use transport systems in Asian developing cities. *Global Environmental Research*, 17 (1), 47–60.
- Nature (2013) Editorial: Change for good. *Nature*, 493, 577.
- Nature (2016) Editorial: Climate changes. *Nature*, 530, 382.
- NIES and MHIR (2015) Assessment of INDCs using AIM/CGE[Global] (Ver.1). http://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/indcs/file/20151009_indcs_leaflet_eng.pdf
- 西岡秀三 (2012) 「低炭素社会のデザイン」 岩波新書
- Reilly, J. (2013) Achieving a low-carbon society. *Climate Policy*, 13(S01), S155–S158.
- Schade, J., Wallstrom, P., Olofsson, T., and Lagerqvist, O. (2013) A comparative study of the design and construction process of energy efficient buildings in Germany and Sweden. *Energy Policy*, 58, 28–37.
- Schiermeier, Q. (2013) Germany's energy gamble. *Nature*, 496, 156–158.
- Seneviratne, S.I., Donat, M.G., Pitman, A.J., Knutti, R., and Wilby, R.L. (2016) Allowable CO₂ emissions based on regional and impact-related climate targets. *Nature*, 529, 477–483.
- Shove, E. (2004) Efficiency and consumption: Technology and practice. *Energy & Environment*, 15 (6), 1053–1065.
- Shrestha, R. and Shakya, S.R. (2012) Benefits of low carbon development in a developing country: Case of Nepal. *Energy Economics*, 34, S503–S512.
- Shukla, P.R., Dhar, S., and Mahapatra, D. (2008) Low carbon society scenarios for India. *Climate Policy*, 8, 156–176.
- Shukla, P.R., Bazaz, A.B., Agarwal, P., Pathak, M., and Sharma, S. (2011) India low carbon society roadmap 2050. Indian Institute of Management, Ahmedabad.
- Skea, J. and Nishioka, S. (2008) Policies and practices for a low-carbon society. *Climate Policy*, 8, S5–S16 Supplement.
- Skea, J., Hourcade, J.-C., and Lechtenbohmer, S. (2013) Climate policies in a changing world context: Is a paradigm shift needed? *Climate Policy*, 13 (S01), S1–S4.
- Skea, J., Lechtenbohmer, S., and Asuka, J. (2013) Climate policies after Fukushima: Three views. *Climate Policy*, 13 (S01), S36–S54.
- Stern, N. (2016) Economics: Current climate models are grossly misleading. *Nature*, 530, 407–409.
- TMG (2015) Presentations made by Tokyo Metropolitan Government (TMG) officials at the Training Workshop on Emissions Reporting and Reduction System, held at TMG Building, Tokyo, 10–12 June, 2015.
- Tollefson, J. (2016a) Paris climate deal hinges on better carbon accountability. *Nature*, 529, 450–451.
- Tollefson, J. (2016b) 2015 declared the hottest year on record. *Nature*, 529, 450.
- Tollefson, J. and Weiss, K. R. (2015) Nations approve historic global climate accord. *Nature*, 528, 315–316.
- Trancik, J.E. (2015) Innovation: Clean energy enters virtuous cycle. *Nature*, 528, 333.
- Tsiligiridis, G. and Ikononopoulos, A. (2013) Five results of incentives policy on grid interconnected photovoltaic systems development in Greece. *Energy Policy*, 58, 303–311.
- UN (2015) Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
- UNFCCC (2010) Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010. UNFCCC/CP/2010/7/Add.1.
- UTM-Low Carbon Asia Research Center (2013) Low Carbon Society Blueprint for Iskandar Malaysia 2025 – Summary for Policymakers. UTM-Low Carbon Asia Research Center, Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Malaysia.
- Van Noorden, R. (2013) Europe's untamed carbon (News in Focus). *Nature*, 493, 142.
- Wang, Q. (2013) China has the capacity to lead in carbon trading (Worldview). *Nature*, 493, 273.
- Watts, N., Adger, W., N., Agnolucci, P., Blackstock, J., Byass, P., Cai, W., Chaytor, S., Colbourn, T., Collins, M., Cooper, A., Cox, P.M., Depledge, J., Drummond, P., Ekins, P., Galaz, V., Grace, D., Graham, H., Grubb, M., Haines, A., Hamilton, I., Hunter, A., and Jiang, X. (2015) Health and climate change: Policy responses to protect public health. *The Lancet*, 386, 10006, 1861–1914.
- WEO (2012) World Energy Outlook 2012. International Energy Agency, Paris, France.
- Witze, A. (2016) Speedier Arctic data as warm winter shrinks ice sea. *Nature*, 531, 15–16.
- World Bank (2011) Mobilizing climate finance. Paper prepared at the request of G20 Finance Ministers, 6 October, 2011. World Bank, Washington, DC.
- WRI (2014) World Resources Institute's website: <http://www.wri.org/blog/2014/11/6-graphs-explain-world%E2%80%99s-top-10-emitters>
- Yeh, S. and Sperling, D. (2013) Low carbon fuel policy and analysis. *Energy Policy*, 56, 1–4.

低炭素社会入門－A Primer on Low Carbon Societies (2016年3月)

著者：Rahul Pandey、甲斐沼美紀子、石川智子、西岡秀三

翻訳：石川智子

出版：地球環境戦略研究機関(IGES)

引用の場合には上記クレジットを記載のうえ、営利目的では使用しないこと。

低炭素社会国際研究ネットワーク事務局
(公益財団法人地球環境戦略研究機関内)
神奈川県三浦郡葉山町上山口2108-11

Email: lcs-rnet@iges.or.jp

Fax: 81-46-855-3809

Web: <http://lcs-rnet.org>



低炭素社会国際研究ネットワーク(LCS-RNet)

(公益財団法人地球環境戦略研究機関内) 〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口2108-11
Eメール: lcs-rnet@iges.or.jp FAX: 046-855-3809 WEB: <http://lcs-rnet.org>

